



**Andrea Raquel de  
Almeida Silva**

**Análise comparativa de estudos de Avaliação do  
Ciclo de Vida da madeira**





**Andrea Raquel de Almeida Silva**      **Análise comparativa de estudos de Avaliação do Ciclo de Vida da madeira**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Ana Cláudia Relvas Vieira Dias, Equiparada a Investigadora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.



## **o júri**

presidente

Professora Doutora Maria Isabel da Silva Nunes,

Professora Auxiliar, Departamento de Ambiente e Ordenamento da  
Universidade de Aveiro

Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho,

Professora Auxiliar, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade  
de Aveiro

Doutora Ana Cláudia Relvas Vieira Dias,

Equiparada a Investigadora Auxiliar, Departamento de Ambiente e  
Ordenamento da Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

Começo por agradecer à Doutora Ana Cláudia Relvas Vieira Dias por toda a disponibilidade e compreensão durante este tempo, bem como pelos ensinamentos que me transmitiu.

Agradeço também à minha família pelo apoio incondicional.





**palavras-chave**

Avaliação de Ciclo de Vida; categorias de impacto ambiental; floresta; madeira; operações florestais

**Resumo**

Este trabalho analisa e efectua a comparação de quatorze estudos de Avaliação de Ciclo de Vida como instrumento de análise para a produção de madeira. Pela análise efectuada verifica-se que os estudos não utilizam todos o mesmo método de avaliação de impactes nem adoptaram a mesma unidade funcional e fronteiras do sistema.

Os resultados mostram uma gama relativamente ampla de variações em termos dos perfis ambientais. Estas variações dependem das espécies, do regime de gestão (diferentes níveis de adubação e intensidade das operações florestais), das condições da localização dos povoamentos florestais e das diferentes características regionais. No entanto, as fases de preparação do terreno, exploração florestal e o transporte de madeira até ao local de processamento foram identificadas como pontos críticos, devido, principalmente, à elevada exigência de combustível. Actividades de fertilização e produção de fertilizantes (quando necessário) e processos relacionados com o controle de infestantes apresentam também elevadas contribuições para as categorias de impacto em avaliação.



**Keywords**

Life Cycle Assessment; environmental impact categories; forest; forest operations; wood

**Abstract**

This study performs an analysis and comparison of fourteen studies that use Life Cycle Assessment as an analytical tool for timber production. This analysis shows that the studies did not use all the same impact assessment method neither adopted the same functional unit and system boundaries.

The results show a relatively wide range of variations in the environmental profiles. These variations depend on the species, the management scheme (different levels of fertilization and intensity of forest operations), the conditions of the location of the forest stands and the different regional characteristics. However, phases such as site preparation, logging and wood transport to the processing site were identified as hotspots, mainly due to the high fuel requirement. Fertilization activities and production of fertilizers (when necessary) and processes related to weed control also feature high contributions to the impact categories under evaluation.



# Índice

Índice .....	i
Índice de Figuras .....	ii
Índice de Tabelas .....	iii
Lista de símbolos e abreviaturas.....	iv
1 Introdução .....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objectivos .....	3
1.3 Organização da tese .....	3
2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) .....	5
2.1 Fases da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) .....	5
2.1.1 Definição do objectivo e âmbito.....	6
2.1.2 Inventário do ciclo de vida (ICV).....	8
2.1.3 Avaliação de impacte do ciclo de vida (AICV).....	9
2.1.4 Interpretação.....	11
2.2 Vantagens e limitações de um estudo de ACV .....	12
3 Operações de gestão florestal.....	15
3.1 Preparação do terreno .....	15
3.2 Instalação dos povoamentos florestais.....	16
3.3 Condução dos povoamentos Florestais .....	16
3.4 Exploração florestal .....	17
3.5 Estabelecimento da rede viária e divisional.....	18
4 Análise comparativa de estudos de ACV da madeira .....	19
4.1 Estudos em análise.....	19
4.1.1 Identificação.....	19
4.1.2 Fronteiras do sistema .....	21
4.1.3 Unidade funcional .....	27
4.1.4 Alocação .....	28
4.1.5 Carbono biogénico.....	28
4.1.6 Resultados .....	28
5 Conclusões .....	59
Referências bibliográficas .....	63
Anexo A – Tabelas .....	67

## Índice de Figuras

Figura 1 – Estágios do ciclo de vida do produto (Fonte: USEPA 2001) .....	5
Figura 2 – Fases de uma ACV (Fonte: NP EN ISO 14040:2008) .....	6
Figura 3 – Análise do impacte aquecimento global – método ReCiPe .....	32
Figura 4 – Análise do impacte depleção do ozono – método ReCiPe.....	33
Figura 5 – Análise do impacte acidificação terrestre – método ReCiPe .....	33
Figura 6 – Análise do impacte eutrofização marinha – método ReCiPe .....	34
Figura 7 – Análise do impacte eutrofização da água doce – método ReCiPe.....	35
Figura 8 – Análise do impacte formação de oxidantes fotoquímicos – método ReCiPe .....	36
Figura 9 – Análise do impacte depleção dos recursos minerais – método ReCiPe .....	37
Figura 10 – Análise do impacte depleção dos combustíveis fósseis – método ReCiPe .....	38
Figura 11 – Análise do impacte depleção da água– método ReCiPe .....	39
Figura 12 – Análise do impacte toxicidade humana – método ReCiPe .....	40
Figura 13 – Análise do impacte ecotoxicidade marinha, da água doce e terrestre – método ReCiPe .....	41
Figura 14 – Análise do impacte aquecimento global – Método CML.....	42
Figura 15 – Análise do impacte ambiental acidificação – Método CML .....	43
Figura 16 – Análise do impacte oxidação fotoquímica – Método CML .....	44
Figura 17 – Análise do impacte eutrofização – Método CML .....	44

## Índice de Tabelas

Tabela 1. – Metodologias de AICV (fonte: ILCD 2010b).....	11
Tabela 2.– Identificação dos estudos em análise .....	20
Tabela 3.– Identificação das fronteiras dos sistemas .....	23
Tabela 3.– Identificação das fronteiras dos sistemas (cont.) .....	24
Tabela 3.– Identificação das fronteiras dos sistemas (cont.) .....	25
Tabela 4.– Identificação das unidades funcionais .....	27
Tabela 5.– Métodos de ACV .....	30
Tabela 6.– Resultados dos estudos em que não é possível a comparação directa.....	46
Tabela 6.– Resultados dos estudos em que não é possível a comparação directa (cont.) .....	47
Tabela 7.– Comparação dos vários factores de impacte por cenário de gestão e região desenvolvido pelo método Ecoindicator 99 (E)/Europe EI 99 E/E .....	50
Tabela 8.– Factores de impacte globais por cenário de gestão e espécies para a região Nordeste /Norte central e região desenvolvido pelo método Ecoindicator 99 (E)/Europe EI 99 E/E .....	50
Tabela 9.– Resultados das operações florestais que mais contribuem para os impactes ambientais .....	52
Tabela 9.– Resultados das operações florestais que mais contribuem para os impactes ambientais (cont.) .....	53
Tabela 9.– Resultados das operações florestais que mais contribuem para os impactes ambientais (cont.) .....	54
Tabela 9.– Resultados das operações florestais que mais contribuem para os impactes ambientais (cont.) .....	55
Tabela 9.– Resultados das operações florestais que mais contribuem para os impactes ambientais (cont.) .....	56
Tabela 9.– Resultados das operações florestais que mais contribuem para os impactes ambientais (cont.) .....	57
Tabela A.1.– Comparação de resultados de estudos com o mesmo método - ReCiPe .....	67
Tabela A.2.– Comparação de resultados de estudos com o mesmo método CML .....	68

## **Lista de símbolos e abreviaturas**

1E – Gestão de alta intensidade de eucalipto com recurso às melhores técnicas de gestão florestal com utilização de colhedora e encaminhadora no corte e rechega

1MP – Gestão de alta intensidade de pinheiro com recurso às melhores técnicas de gestão florestal com utilização de colhedora e encaminhadora no corte e rechega

2E – Gestão de alta intensidade eucalipto com recurso às melhores técnicas de gestão florestal com utilização de motosserra e tractor agrícola no corte e rechega

2MP – Gestão de alta intensidade de pinheiro com recurso às melhores técnicas de gestão florestal com utilização de motosserra e tractor agrícola no corte e rechega

3E – Gestão de baixa intensidade de eucalipto

3MP – Gestão de baixa intensidade de pinheiro

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida

AI – Alta intensidade

AICV – Avaliação de impacte do ciclo de vida

BI – Baixa intensidade

C – Centro

C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> – Etileno

CFC – Clorofluorcarboneto

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

DCB – Diclorobenzeno

EMF – Cenário de gestão extensiva em França

EN – Norma europeia

eq – Equivalente

ES – Cenário de gestão extensiva

EUA – Estados Unidos da América

g – Gramas

CFC<sup>-11</sup> – Tricloromonofluormetano

GWP – Global Warming Potential

ha – Hectare

HMP – Cenário de gestão de alta intensidade em Portugal



ICV – Inventário de Ciclo de Vida  
IMF – Cenário de gestão intensiva em França  
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change  
IS – Cenário de gestão intensiva  
ISO – International Organization for Standardization  
Kg – Quilograma  
LCA – Life Cycle Assessment  
LMP – Cenário de gestão de baixa intensidade extensiva em Portugal  
m – Manual  
M – Mecânico  
m<sup>3</sup> – Metro cúbico  
MI – Média Intensidade  
mol H<sup>+</sup> – Moles do catião hidrogénio  
N – Norte  
nmVOC – Compostos orgânicos voláteis não metânicos  
NO<sub>x</sub> – Óxidos de azoto  
NP – Norma Portuguesa  
O<sub>2</sub> – Oxigénio  
PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> – Fosfato  
Q – Químico  
REPA – Resource and Environmental Profile Analysis  
S – Sul  
Sc – Cenário  
SO<sub>2</sub> – dióxido de enxofre  
ub – Sem casca (sc)  
x – Operação realizada sem referir se é mecânica ou manual



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 ENQUADRAMENTO

Um dos elementos-chave dos ecossistemas globais são as florestas, que cobrem cerca de 4 milhões de hectares (cerca de 31% da superfície terrestre do planeta) (FAO 2010). As florestas desempenham muitas funções ambientais, tais como o fornecimento de habitats para uma variedade de plantas e espécies animais, protegem o solo e a água, e melhoram a qualidade do ar e da água. As florestas são também um recurso económico importante para milhões de trabalhadores, empreiteiros e proprietários florestais e, portanto, contribuem para o crescimento económico, para o emprego e para a riqueza. Além disso, as florestas fornecem energia renovável e biomassa, se geridas de forma sustentável.

As florestas encerram uma grande biodiversidade e garantem o necessário equilíbrio ecológico. Por isso, elas são cada vez mais reconhecidas como espaços de importância fundamental para a manutenção dos valores naturais e para a melhoria da qualidade de vida das populações.

É nas florestas e noutros cobertos vegetais que se realiza a fotossíntese da qual depende a vida: produção de oxigénio a partir do dióxido de carbono. Elas são reservatórios de dois quintos de todo o carbono armazenado nos ecossistemas terrestres, sendo consideradas como “pulmões do mundo” ou “sumidouros de carbono”.

Além da indispensável função fotossintética, as florestas desempenham papéis extremamente relevantes, quer a nível ecológico, quer económico e mesmo social. Entre inúmeras funções, elas:

- São fonte de bens como madeiras, combustíveis, alimentos e matérias-primas (ex. resina, celulose, cortiça, frutos, bagas);
- Têm funções de protecção do solo contra a erosão, de controlo do ciclo e da qualidade da água;
- Concentram a maior parte da biodiversidade terrestre, nomeadamente, de espécies vegetais e animais;
- Têm um elevado valor paisagístico e recreativo.

No entanto, a gestão florestal com vista a actividades de carácter económico, consome combustíveis fósseis, fertilizantes, herbicidas que causam impactes ambientais tais como: alterações climáticas, depleção da camada de ozono, toxicidade humana, formação de oxidantes fotoquímicos, acidificação terrestre, eutrofização da água, etc. Desta forma interessa avaliar a significância desses impactes. Uma das ferramentas que tem sido utilizada com este intuito é a avaliação de ciclo de vida (ACV).

A ACV é uma ferramenta que aborda os aspectos e impactes ambientais potenciais ao longo do ciclo de vida de um produto desde a aquisição de matéria-prima, produção, utilização, tratamento de fim de vida, reciclagem e deposição final (ou seja, desde o berço até ao túmulo). A ACV é reconhecida internacionalmente como uma técnica holística analítica para a avaliação dos impactes ambientais associados a um produto durante a totalidade do seu ciclo de vida.

É um modelo de uma realidade complexa que:

- Permite identificar os impactes ambientais;
- Determina as consequências desses impactes na saúde humana, ecossistemas e disponibilidade de recursos;
- Permite a comparação directa entre produtos, processo e sub-processos.

A ACV está definida pelas normas NP EN ISO 14040:2008 (ISQ 2008) e pela NP EN ISO 14044:2010 (ISQ 2010) sendo a “compilação e avaliação das entradas, saídas e impactes ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida”.

## **1.2 OBJECTIVOS**

Numa perspectiva de longo prazo, a procura por produtos florestais como um recurso para a indústria florestal e para o sector da energia vai continuar a aumentar. Assim, importa consciencializar sobre os impactes ambientais associados às operações de gestão florestal de forma a definir estratégias que permitam a sua minimização.

O objectivo geral deste trabalho de tese é o de melhorar o conhecimento sobre os impactes da produção de madeira. Para tal, desdobrou-se o trabalho nos seguintes objectivos específicos:

- Efectuar uma análise comparativa dos diferentes estudos de ACV disponíveis para a produção de madeira;
- Comparar procedimentos metodológicos e resultados obtidos.

## **1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE**

O presente documento encontra-se organizado da seguinte forma:

- No Capítulo 1 será apresentada uma exposição e sucinta do tema em questão, tendo em foco a definição dos objetivos do trabalho;
- No Capítulo 2 faz-se uma explicitação da metodologia de ACV apresentando as suas várias fases, vantagens e desvantagens;
- No Capítulo 3 faz-se uma apresentação e descrição das operações florestais;
- No Capítulo 4 apresentam-se os artigos em comparação, e efetua-se uma comparação entre os resultados dos mesmos;
- Finalmente, no Capítulo 5, serão apresentadas as conclusões e sugestões da presente dissertação.



## 2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

O termo “ciclo de vida” refere-se à maioria das actividades no decurso da vida do produto desde a sua fabricação, utilização, manutenção, e deposição final e incluindo a aquisição de matérias-primas necessárias para a fabricação do produto. A figura 1 ilustra os possíveis estágios de ciclo de vida que podem ser considerados numa ACV e as entradas/saídas típicas medidas (USEPA 2001).

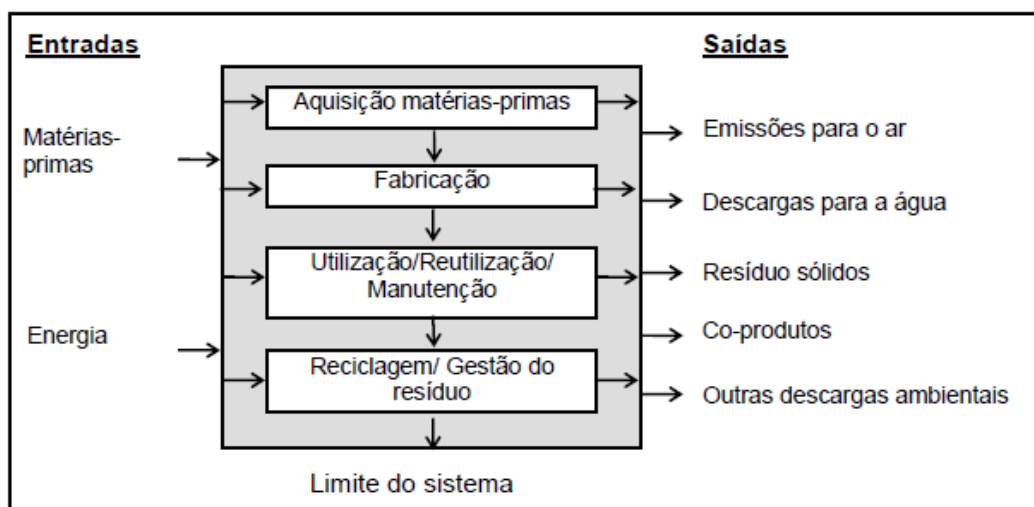


Figura 1 – Estágios do ciclo de vida do produto (Fonte: USEPA 2001)

Num estudo ACV de um produto ou serviço, todas as extracções de recursos e emissões para o ambiente são determinadas, quando possível, numa forma quantitativa ao longo de todo o ciclo de vida, desde que "nasce" até que "morre" – “from cradle to grave”, sendo com base nestes dados que são avaliados os potenciais impactes no ambiente.

### 2.1 FASES DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

O processo ACV é uma abordagem sistemática composta por quatro fases: definição do objectivo e âmbito, análise de inventário, avaliação de impactes e interpretação, como se ilustra na figura 2 (NP EN ISO 14040:2008). Note-se que em determinados casos, consoante o objectivo definido no estudo de ACV, o objectivo pode ser atingido com a realização apenas das fases de definição do objectivo e âmbito, análise de inventário e interpretação. Neste caso trata-se de um estudo de inventário de ciclo de vida (ICV).

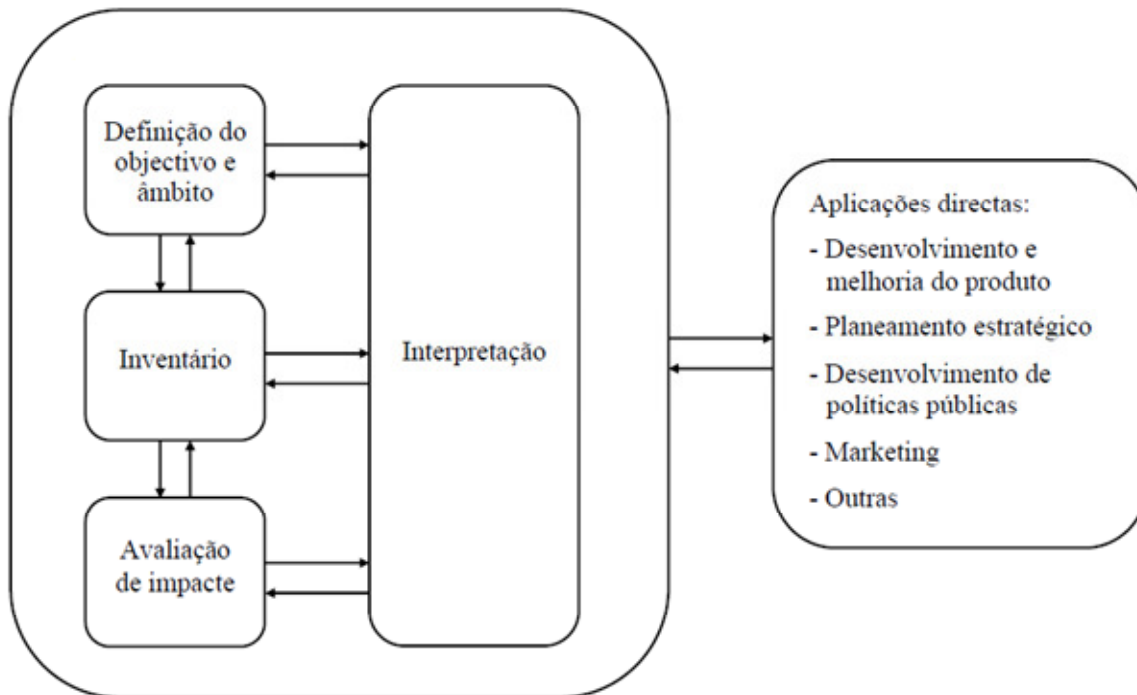


Figura 2 – Fases de uma ACV (Fonte: NP EN ISO 14040:2008)

### 2.1.1 DEFINIÇÃO DO OBJECTIVO E ÂMBITO

A primeira componente da ACV consiste na definição dos objectivos do estudo, seu âmbito, com a definição da unidade funcional, e estabelecimento de um procedimento para assegurar a qualidade do estudo (Consoli *et al.* 1993).

Na definição de âmbito de um estudo ACV, devem ser considerados e claramente descritos os seguintes itens (NP EN ISO 14040): as funções do sistema de produto ou, no caso de estudos comparativos, os sistemas; a unidade funcional; o sistema de produto a ser estudado; os limites do sistema de produto; os procedimentos de alocação; as categorias de impacto e metodologias de avaliação de impactos e subsequente interpretação a ser utilizada; requisitos dos dados; pressupostos; limitações; requisitos iniciais de qualidade dos dados; tipo de revisão crítica, se necessário; tipo e formato do relatório requerido para o estudo.

O âmbito deve ser suficientemente bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade e o detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes, para atingir os objectivos planeados. Uma explanação tão completa não será requerida segundo (Heijungs *et al.* 1992), se a ACV se destina a ser utilizada apenas internamente numa empresa, por exemplo para optimizar o "design" do produto.



A ACV é uma técnica iterativa, por isso, o âmbito do estudo pode necessitar de ser modificado durante a sua condução à medida que é recolhida informação adicional.

Nesta fase é definida a unidade funcional. Esta é uma medida do desempenho das saídas funcionais do sistema de produto, que constitui a referência para a qual as entradas e as saídas são relacionadas. A função do sistema e unidade funcional são elementos centrais de uma ACV. Sem eles, a comparação significativa e válida não é possível (ILCD 2010a). A ACV é sempre ancorada numa descrição precisa e quantitativa da função fornecida pelo sistema em análise. Esta referência é necessária para assegurar que a comparabilidade dos resultados de ACV é feita numa base comum, sendo particularmente crítica quando diferentes sistemas estão a ser avaliados. Muitas das discrepâncias aparentes entre estudos ACV relatados na literatura surgem porque os sistemas não são especificados convenientemente numa base comparável ou porque sistemas diferentes estão a ser comparados (Consoli *et al.* 1993).

A alocação consiste na divisão adequada dos aspectos ambientais entre a unidade funcional e os subprodutos do sistema (NP EN ISO 14044:2010). A sua utilização é necessária quando não se consegue separar nitidamente os impactos gerados pela função em estudo de outras geradas simultaneamente pelo sistema produtivo. A norma NP EN ISO 14044:2010 aconselha que a alocação seja evitada sempre que possível. Isto justifica-se, pois ao adicionar mais cálculos ao estudo de ACV, mais incertezas também são atribuídas. Desta forma, a norma apresenta duas possibilidades para evitar a alocação:

- Divisão do processo a ser alocado em sub-processos;
- Expansão dos limites do sistema.

Se não for possível evitar a alocação, a norma ainda sugere outros procedimentos:

1. As entradas e saídas do sistema devem ser distribuídas entre os diferentes produtos ou funções, de forma que reflecta uma relação física entre eles, ou seja, devem representar a forma em que as entradas e saídas são alteradas com mudanças quantitativas nos produtos ou funções que deixam o sistema;
2. Onde relações físicas não podem ser estabelecidas ou usadas como base para a alocação, as entradas devem ser distribuídas entre os produtos e funções de forma que reflecta outra relação entre eles. Por exemplo, dados de entrada e saída podem ser alocados entre os co-produtos, proporcionalmente ao valor económico dos produtos;

3. Quando mais de um método de alocação pode ser aplicável, uma análise de sensibilidade deve ser realizada para ilustrar as consequências das diferentes alternativas.

Os requisitos de qualidade dos dados especificam, em termos gerais, as características dos dados necessários para o estudo. Requisitos de qualidade dos dados devem ser definidos para permitir atingir os objectivos e âmbito do estudo de ACV. Os requisitos de qualidade dos dados devem referir (NP EN ISO 14040): cobertura temporal; cobertura geográfica; cobertura tecnológica; precisão, integridade e representatividade dos dados; consistência e reprodutibilidade dos métodos utilizados ao longo da ACV; fontes dos dados e sua representatividade; incerteza da informação.

### *2.1.2 INVENTARIO DO CICLO DE VIDA (ICV)*

A fase de análise do ICV é a segunda fase de uma ACV. Nesta fase procede-se ao inventário das entradas e saídas do sistema em estudo. As entradas são os consumos de matérias-primas, matérias auxiliares, energia e água. As saídas incluem o produto, subprodutos, resíduos sólidos e emissões para a água, ar e solo.

O processo de condução de uma análise de inventário é iterativo. À medida que os dados são conhecidos e mais informação acerca do sistema é adquirida, novos requisitos de dados ou limitações podem ser identificados, requerendo uma alteração nos procedimentos de recolha de dados, para que os objectivos do estudo ainda sejam satisfeitos. Algumas vezes, pontos importantes podem ser identificados que requerem revisões dos objectivos ou âmbito do estudo (NP EN ISO 14040).

A análise de inventário processa-se através das seguintes fases: construção da árvore do processo; definição dos limites do sistema (de produto com o ambiente e de produto com outros sistemas de produto); finalização dos limites do sistema; recolha de dados; procedimentos de cálculos (procedimentos de alocação e procedimentos de construção da tabela de inventário) (Ferreira 2004).

Para análise do inventário, e de acordo com a norma NP EN ISO 14040, devem ser recolhidos os dados qualitativos e quantitativos para cada processo unitário que esteja incluído dentro dos limites do sistema. A recolha de dados é feita em dois tipos de fluxos de entrada e de saída, sendo um processo complexo e intensivo em recursos, podendo os procedimentos adoptados variar com o âmbito, o sistema e a aplicação pretendida

para a ACV (Heijungs *et al.* 1992). Os dados devem ser baseados num período de tempo, que seja suficientemente longo, para atenuar comportamentos anormais.

Dois princípios de modelos de ICV estão em uso na ACV: modelo consequencial e atribucional, com o segundo sendo mais amplamente utilizado por razões históricas e práticas. Eles representam a partir da sua lógica duas situações fundamentalmente diferentes de modelação do sistema analisado. O modelo de ciclo de vida atribucional de um produto retrata a cadeia de fornecimento efectiva ou específica prevista bem como a sua utilização na cadeia de valor de fim de vida. O sistema existente ou previsto é incorporado numa tecnosfera estática. O modelo de ciclo de vida consequencial retrata a cadeia de abastecimento genérica como é teoricamente esperado em consequência da decisão analisada. O sistema interage com os mercados e as mudanças são retratadas numa tecnosfera dinâmica que reage à procura adicional do produto (ILCD 2010a).

### 2.1.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTE DO CICLO DE VIDA (AICV)

Esta fase pretende obter informação adicional que auxilie o ICV na análise do sistema em estudo de forma a contribuir para uma melhor compreensão da sua significância ambiental.

Trata-se de um processo técnico quantitativo de avaliação das cargas ambientais identificadas no processo de inventário tradicionalmente recorrendo a software específico. A norma NP EN ISO 14044 define a AICV como a fase de avaliação do ciclo de vida que visa compreender e avaliar a magnitude e importância dos potenciais impactes ambientais de um sistema de produto (NP EN ISO 14044). O objectivo da fase de avaliação de impacte é, portanto, interpretar as emissões do ciclo de vida e o consumo de recursos inventariados em termos de indicadores para as áreas de protecção, ou seja, avaliar o impacte sobre as entidades que queremos proteger.

De acordo com a ISO 14044, a AICV desenvolve-se através de seis elementos, dos quais apenas três são obrigatórios:

#### 1. Seleccção de categorias de impacte (obrigatório)

Neste elemento, os impactes ambientais relevantes para o estudo são definidos, através da selecção das categorias de impacte, bem como dos respectivos indicadores e modelos de caracterização.

## 2. Classificação (obrigatório)

Os fluxos elementares do inventário de ciclo de vida (por exemplo, o consumo de recursos, emissões para o ar, etc.) são atribuídos a categorias de impacto de acordo com a capacidade das substâncias de contribuir para diferentes problemas ambientais.

## 3. Caracterização (obrigatório)

O impacto de cada emissão ou consumo de recursos é modelado quantitativamente, de acordo com o mecanismo ambiental. A caracterização envolve a conversão dos resultados de ICV em unidades comuns e a agregação dos resultados convertidos na mesma categoria de impacto. Esta conversão utiliza factores de caracterização (NP EN ISO 14044). O resultado é expresso como uma pontuação de impacto em uma unidade comum a todas as contribuições dentro da mesma categoria de impacto por aplicação dos factores de caracterização. Por exemplo, kg de CO<sub>2</sub> equivalente de gases de efeito estufa seria a unidade utilizada para os resultados que contribuem para a categoria de impacto “Alteração Climática”.

## 4. Normalização (opcional)

Os resultados da caracterização são relacionados com uma referência comum, tal como os impactos causados por uma pessoa durante um ano, num contexto geográfico declarado. Isso facilita as comparações entre as categorias e/ou áreas de protecção de impacto.

## 5. Agregação (opcional)

A agregação é a imputação das categorias de impacto a um ou mais conjuntos como pré-definido na definição de objectivo e âmbito (NP EN ISO 14044). Pode envolver a ordenação e/ou hierarquização das categorias de impacto

## 6. Ponderação (opcional)

As diferentes categorias de impacto ambiental e/ou áreas de protecção são classificadas de acordo com a sua importância relativa.

Na tabela 1 estão apresentadas as metodologias de AICV mais utilizadas actualmente.

Tabela 1. – Metodologias de AICV (fonte: ILCD 2010b)

<b>Metodologia</b>	<b>Desenvolvido por</b>	<b>País de origem</b>
CML 2002	CML	Holanda
Eco-indicator 99	Pré	Holanda
EDIP97-EDIP2003	DTU	Dinamarca
EPS 2000	IVL	Suécia
Impact 2002+	EPFL	Suiça
LIME	AIST	Japão
LUCAS	CIRAIG	Canadá
ReCiPe	RUN+Pré+CML+RIV M	Holanda
Swiss Ecoscarcity 07	E2+ESU-services	Suiça
TRACI	US EPA	USA
MEEuP	VhK	Holanda

#### 2.1.4 INTERPRETAÇÃO

Nesta fase procede-se à reunião dos resultados obtidos nas fases anteriores e à sua discussão, interpretação e elaboração de conclusões referentes ao objectivo definido no início.

À luz dos resultados obtidos nas fases de ICV e/ou de AICV devem ser realizados os seguintes aspectos:

- identificação da origem dos impactes;
- interpretação das diferenças registadas;
- comparação entre soluções;
- esclarecer limitações;
- sugestão de recomendações;
- sustentação para novos estudos.

Procede-se à identificação dos pontos significativos baseados nos resultados das fases de ICV e/ou AICV do estudo ACV. Os pontos significativos podem ser: categorias dos dados de inventário, tais como, energia, emissões, resíduos, etc. Efectua-se a avaliação pela verificação da integralidade sensibilidade e consistência. O objectivo da verificação da integralidade é assegurar que toda a informação relevante e todos os dados

necessários para a interpretação estão disponíveis e completos. O objectivo da verificação de sensibilidade é avaliar a confiança dos resultados e chegar a conclusões finais, verificando se eles são afectados pelas incertezas dos dados, métodos de alocação ou cálculos dos resultados dos indicadores de categoria (Ferreira 2004). Esta avaliação deve incluir também os resultados das análises de sensibilidade e de incerteza. Em Heijungs *et al.* (1992, 1994, 1996) são distinguidos quatro tipos de análise de sensibilidade: análise de confiança, análise de validade, análise de dominância, e análise marginal.

## **2.2 VANTAGENS E LIMITAÇÕES DE UM ESTUDO DE ACV**

Os dados de um estudo de ACV em conjunto com outra informação, por exemplo, dados de custos e performance, podem ajudar os responsáveis pela tomada de decisão na selecção de produtos ou processos que resultem num menor impacte para o ambiente.

A metodologia ACV é a única que permite identificar a transferência de impactes ambientais de um meio para outro (p.ex: a eliminação de emissões atmosféricas pode ser feita à custa do aumento das emissões de efluentes líquidos) e/ou de um estágio de ciclo de vida para outro (p. ex.:, da fase de aquisição de matérias-primas para a fase de utilização).

Na selecção de dois produtos concorrentes pode parecer que a “opção-1” é melhor para o ambiente porque necessita de menos matérias-primas, na fase de fabricação, que a “opção-2”. Porém, porque na elaboração de um estudo ACV são considerados todos os estágios do ciclo de vida, os resultados finais podem mostrar que é a “opção-1” que mais impacte causa no ambiente, dada a necessidade que tem de um maior consumo de electricidade, na fase de utilização, que a “opção-2”. Sem a elaboração de um estudo ACV estes factos não serão detectados.

Na elaboração de um estudo ACV, pode-se (USEPA 2001):

- Desenvolver uma avaliação sistemática das consequências ambientais associadas a um dado produto.
- Analisar os balanços (ganhos/perdas) ambientais associados a um ou mais produtos/processos específicos de modo a que os visados (estado, comunidade, etc.) aceitem uma acção planeada.

- Quantificar as descargas ambientais para o ar, água, e solo relativamente a cada estágio do ciclo de vida e/ou processos que mais contribuem.
- Assistir na identificação de significantes trocas de impactes ambientais entre estágios de ciclo de vida e o meio ambiental.
- Avaliar os efeitos humanos e ecológicos do consumo de materiais e descargas ambientais para a comunidade local, região e o mundo.
- Comparar os impactes ecológicos e na saúde humana entre dois ou mais produtos/processos rivais ou identificar os impactes de um produto ou processo específico.
- Identificar impactes em uma ou mais áreas ambientais específicas de interesse.

A elaboração de um estudo ACV apresenta algumas limitações, como a necessita de muitos recursos, de uma grande quantidade de dados e pode-se arrastar por muito tempo. Deste modo, os recursos financeiros deverão ser balanceados com os benefícios previsíveis do estudo.

O estudo de ACV não determina qual produto é o mais caro ou funciona melhor. Por isso, a informação desenvolvida num estudo ACV deve ser utilizada como uma componente de um processo de tomada de decisão.





### **3 OPERAÇÕES DE GESTÃO FLORESTAL**

No âmbito da realização deste estudo importa abordar quais as operações de gestão florestal típicas. Este facto prende-se com a definição das fronteiras da ACV, pois serão avaliadas, nos vários estudos, as fronteiras do sistema em estudo podendo haver variações nas mesmas. Assim, as operações de gestão florestal distribuem-se em operações mecanizadas e em operações motomanuais, que se realizam nas seguintes fases de gestão de um povoamento:

- preparação do terreno;
- instalação dos povoamentos florestais;
- condução dos povoamentos florestais;
- exploração florestal;
- estabelecimento da rede viária e divisional.

#### **3.1 PREPARAÇÃO DO TERRENO**

O objectivo da preparação do terreno é o de criar ou melhorar as condições necessárias à instalação e crescimento de espécies florestais. Comporta dois tipos de intervenções:

1- Controlo de vegetação espontânea - A vegetação espontânea compete com as plantas, dificultando os trabalhos de mobilização do solo e a execução de sementeiras e plantações, pelo que se torna necessário o seu controlo. As técnicas usadas dependem, do tipo de vegetação, declive, do tipo de solo e do regime hídrico, e podem ser manuais (roçadora, enxada, foice), moto-manuais (motorroçadora), ou mecânicas (tratores com corta-matos ou grades de discos). Também pode ser utilizado o fogo controlado, principalmente em terrenos com declives muito elevados (FPFP 2001).

2- Mobilização do solo - A mobilização do solo tem como objectivo fornecer às plantas jovens as melhores condições possíveis de desenvolvimento: aumentar a capacidade de retenção de água e descompactar o solo, eliminando horizontes impermeáveis. À semelhança das operações de controlo de vegetação espontânea, também as operações de mobilização do solo se distinguem em operações manuais e mecanizadas. As operações mecanizadas mais frequentes são a ripagem, a subsolagem, a armação do

terreno em vala e câmor, a lavoura e a abertura de covas mecanizada. Para prevenção dos riscos de erosão e a procura de um aumento das taxas de infiltração hídrica, a execução da mobilização do solo deve ser segundo as curvas de nível.

### **3.2 INSTALAÇÃO DOS POVOAMENTOS FLORESTAIS**

Os cuidados e técnicas inerentes à execução da plantação, sementeira e regeneração natural adquirirão uma importância fulcral na viabilização e qualidade do futuro povoamento. A regeneração natural apresenta algumas vantagens relativamente à plantação de raiz, tais como: menores impactos ambientais, melhor aproveitamento do potencial genético da planta e custos de regeneração mais baixos (Oliveira, A 1999). No entanto origina povoamentos de composição variável, com disposição aleatória das plantas. Esta disposição aleatória pode vir a originar problemas na condução e manutenção dos povoamentos (FPFP 2001).

Na plantação são colocadas, em solo previamente preparado, plantas de torrão ou de raiz nua produzidas em viveiro. Esta pode ser manual ou mecanizada. Na sementeira efectua-se a aplicação directa de sementes no local de instalação definitiva do povoamento. A sementeira pode ser realizada na totalidade, ou apenas em parte do terreno. No caso de se realizar em parte do terreno, pode ser feita em manchas, linhas, faixas ou pontualmente.

Pode-se proceder à aplicação de adubo e à retanção que é a reposição das plantas que morreram após a plantação (FPFP 2001).

### **3.3 CONDUÇÃO DOS POVOAMENTOS FLORESTAIS**

As técnicas de silvicultura enquadradas no âmbito da condução dos povoamentos visam fundamentalmente gerir a concorrência em benefício das melhores árvores, nomeadamente, através da implementação de operações que resultam na eliminação das de qualidade inferior ou na intervenção directa sobre as árvores a conservar (Gonçalves *et al* 2008).

Uma condução criteriosa dos desbastes, retirando os exemplares defeituosos, e a correcta gestão da vegetação de acompanhamento, favorece a desramação natural e traduz-se na melhoria da qualidade.

As operações de condução dos povoamentos florestais podem incidir sobre o meio ou sobre as árvores.

1- Intervenções no meio:

- Fertilização
- Gestão da vegetação espontânea
- Mobilização do solo (gradagem)
- Gestão de resíduos florestais

2- Intervenções nas árvores (Cortes culturais):

- Rolagem (corte da parte aérea da planta)
- Limpeza do povoamento
- Desbastes
- Desramação
- Poda

### **3.4 EXPLORAÇÃO FLORESTAL**

A exploração florestal é o conjunto de operações florestais que se destinam a converter árvores em pé em produtos utilizáveis pelo processo industrial, incluindo o corte, a rechega para o carregadouro e o transporte até ao local onde se opera a transformação industrial (INCF 2014).

O corte consiste no abate das árvores, desrama, toragem, descasque (quando existe) e no seu empilhamento. A rechega corresponde à operação que envolve o transporte do material lenhoso previamente cortado e empilhado, para o carregadouro (pilha de rechega) ou directamente para o camião. Na carga e transporte, na escolha do equipamento mais adequado deve prestar-se especial atenção às características dos caminhos (declives, larguras, raios das curvas e tipo de revestimento) e às condições climáticas predominantes (Aliança Florestal *et al* 2007).

A exploração florestal compreende duas vertentes, a exploração de produtos não lenhosos e a exploração de material lenhoso, que corresponde ao conjunto de operações que decorrem desde o abate das árvores até ao carregamento e transporte do material

lenhoso e onde se insere o abate, o processamento e a extracção, incluindo a gestão de resíduos florestais.

O aproveitamento dos resíduos florestais está desde sempre ligado à necessidade de lenhas para uso doméstico. Com o advento da era industrial muitos destes resíduos foram canalizados para o abastecimento de unidades industriais como fonte de energia.

Nas técnicas de produção florestal destacam-se as limpezas, desbastes, desramações, e cortes finais como fonte de biomassa. Consideram-se como resíduos da exploração florestal fundamentalmente os resíduos derivados dos cortes finais, constituídos pelos ramos e as bicadas, sobranes da operação de corte.

O tratamento/extracção de resíduos florestais compreende um conjunto de operações, tais como: recolha, transporte, tratamento (produção de estilha), tendo como objectivo a sua utilização posterior ou a sua incorporação no solo florestal.

### **3.5 ESTABELECIMENTO DA REDE VIÁRIA E DIVISIONAL**

Uma correcta rede viária permitirá uma melhor utilização dos equipamentos de exploração, diminuir as distâncias de recolha e melhorar significativamente as acessibilidades do transporte. Não devem ser efectuadas operações em condições de humidade elevada do solo e não deve ser arrastado qualquer tipo de material para as linhas de água. Na construção e manutenção de estradas e caminhos deve dar-se especial atenção ao comportamento da água, de forma a melhor interceptá-la e encaminhá-la no terreno (Aliança Florestal *et al* 2007).

O estabelecimento da rede viária e divisional é fundamental na organização do espaço florestal, devido à necessidade de providenciar a passagem nos povoamentos florestais de todos os equipamentos, maquinaria e pessoal, de facilitar a remoção dos produtos florestais e de auxiliar na prevenção, detenção e combate aos incêndios florestais.

## **4 ANÁLISE COMPARATIVA DE ESTUDOS DE ACV DA MADEIRA**

Com este trabalho pretende-se analisar a bibliografia existente sobre o tema de ACV da madeira. Assim, os principais factores a analisar são os seguintes:

- País do estudo
- Ano de publicação
- Espécies florestais
- Operações florestais
- Unidade funcional
- Fronteiras do sistema
- Tipo de estudo
- Existência de alocação
- Metodologia de avaliação de impactes
- Tratamento do carbono biogénico
- Resultados

### **4.1 ESTUDOS EM ANÁLISE**

#### *4.1.1 IDENTIFICAÇÃO*

Este trabalho incidiu sobre dos estudos de ACV da madeira publicados. Dos vários estudos encontrados foram seleccionados 14 para os quais se procedeu à sua análise comparativa. A selecção dos estudos prendeu-se com o facto de nem todos os estudos apresentarem resultados para a produção de madeira. Vários estudos publicados relacionados com a madeira para produção de pellets, painéis para mobiliário e papel, abordam apenas a madeira depois desta ter saído do local de produção, o que não é o objectivo do presente trabalho. Na tabela 2 pode-se encontrar os estudos em análise neste trabalho.

Tabela 2.— Identificação dos estudos em análise

Referência	Espécie	Localização geográfica	Representatividade de Temporal
Berg e Lindholm (2005)	Resinosas	Norte, Centro e Sul da Suécia	1996-1997
Johnson <i>et al.</i> (2005)	Resinosas	Estados Unidos (Sudeste e Pacífico noroeste)	-
White <i>et al.</i> (2005)	Pinho branco e vermelho, abeto, videiro, e outras folhosas	Estados Unidos	2000-2003
González-García <i>et al.</i> (2009)	Eucalipto ( <i>Eucalyptus globulus</i> )	Espanha	-
Michelsen <i>et al.</i> (2008)	Abetos, principalmente <i>Picea abies</i>	Noruega	-
Oneil, <i>et al.</i> (2010)	Álamo/bétula, carvalho/nogueira, abeto, e madeira do norte	Estados Unidos (Noroeste interior e nordeste e norte central)	-
Cambria e Pierangeli (2012)	Nogueira ( <i>Juglans regia</i> L.)	Sul de Itália	-
Dias e Arroja (2012)	Eucalipto ( <i>Eucalyptus globulus</i> Labill.) e Pinheiro ( <i>Pinus pinaster</i> Ait.)	Portugal	-
May <i>et al.</i> (2012)	Resinosas e floresta nativa de folhosas	Austrália (Oeste e Queensland)	-
England <i>et al.</i> (2013)	Resinosas e floresta nativa de folhosas	Austrália (Oeste e Queensland)	2001-2006
González-García <i>et al.</i> (2013a)	Abeto de Douglas ( <i>Pseudotsuga menziesii</i> )	França (Centro-sul)	-
González-García <i>et al.</i> (2013b)	Abeto de Douglas ( <i>Pseudotsuga menziesii</i> )	Alemanha (estado de Baden-Württemberg)	-
González-García <i>et al.</i> (2014a)	Pinheiro bravo ( <i>Pinus pinaster</i> Ait.)	Portugal e França	-
González-García <i>et al.</i> (2014b)	Pinheiro bravo, Abeto, Salgueiro, Álamo e Abeto de Douglas	Suécia, Alemanha, França, Itália e Portugal	-

- Informação não disponibilizada

Os estudos existentes apresentam uma variedade geográfica muito grande, existem estudos europeus, nomeadamente em Portugal, Espanha, França, Itália, Alemanha e Suécia, e estudos dos EUA e da Austrália. Cada estudo refere-se a espécies típicas da sua localização geográfica, por exemplo em Portugal as espécies predominantes são o eucalipto e o pinheiro bravo.

#### 4.1.2 FRONTEIRAS DO SISTEMA

A tabela 3 apresenta um resumo das fronteiras do sistema consideradas por cada estudo em análise. As operações florestais abordadas em cada estudo são muito idênticas, verificando-se, no entanto, algumas diferenças entre países e espécies, conforme apresentado de seguida.

No que respeita às fases de gestão, a preparação do terreno não é considerada nas fronteiras dos sistemas dos estudos de White, *et al.* (2005), Oneil, *et al.* (2010), Cambria e Pierangeli (2012) e England, *et al.* (2013). A condução de povoamentos florestais não é considerada nos estudos de Berg e Lindholm (2005) e White, *et al.* (2005). A exploração florestal é referida em todos estudos, com excepção do cenário do pacífico nordeste de Johnson, *et al.* (2005). No caso do estabelecimento da rede viária e divisional, Johnson, *et al.* (2005), Oneil, *et al.* (2010) e González-García, *et al.* (2014b) não incluem esta fase nas fronteiras dos sistemas.

Existem outras actividades que são consideradas apenas por alguns estudos como é o caso do transporte da madeira até à fábrica que é considerada por White, *et al.* (2005), González-García, *et al.* (2009), May, *et al.* (2012) e England, *et al.* (2013). O transporte de trabalhadores é apenas considerado por White, *et al.* (2005) e England, *et al.* (2013).

A produção de mudas e/ou sementes é apenas incluído nos estudos de Berg e Lindholm (2005), White, *et al.* (2005), May, *et al.* (2012), England, *et al.* (2013), González-García, *et al.* (2013a), González-García, *et al.* (2013b), González-García, *et al.* (2014a), González-García, *et al.* (2014b) e Michelsen, *et al.* (2008).

A produção de fertilizantes é considerado por Johnson, *et al.* (2005), Cambria e Pierangeli (2012), Dias e Arroja (2012), England, *et al.* (2013), González-García, *et al.* (2013a), González-García, *et al.* (2014a) e González-García, *et al.* (2014b). A produção de herbicida é considerado por England, *et al.* (2013), González-García, *et al.* (2013a), González-García, *et al.* (2014a) e González-García, *et al.* (2014b) e a produção de pesticidas é apenas referida por González-García, *et al.* (2014b).

A produção de lubrificantes é referida por Johnson, *et al.* (2005), Dias e Arroja (2012) e England, *et al.* (2013). A produção de combustíveis foi considerada por Johnson, *et al.* (2005), González-García, *et al.* (2009), Dias e Arroja (2012), England, *et al.* (2013), González-García, *et al.* (2013a), González-García, *et al.* (2013b), González-García, *et al.* (2014a) e González-García, *et al.* (2014b). A produção e manutenção de máquinas é abordada por Cambria e Pierangeli (2012), González-García, *et al.* (2013a), González-García, *et al.* (2013b), González-García, *et al.* (2014a) e González-García, *et al.* (2014b).

A prevenção e controlo de incêndios é abordada apenas por England, *et al.* (2013), possivelmente por se tratar de um estudo australiano em que a questão dos incêndios na Austrália é de elevada importância.



Tabela 3.– Identificação das fronteiras dos sistemas

			Artigo																																
			Berg e Lindholm (2005)	Johnson, et al. (2005)			White, et al. (2005)	González-García, et al. (2009)	Oneil, et al. (2010)	Cambria e Pierangeli (2012)	Dias e Arroja (2012)			May, et al. (2012)	England et al. (2013)	González-García, et al. (2013a)	González-García, et al. (2013b)	González-García, et al. (2014a)	González-García, et al. (2014b)	Michelsen, et al (2008)															
Cenários			N	C	S	Sudeste			Pacífico Noroeste			-			-	-	-	-	Eucalipto			Pinheiro			-	-	ES	IS	-	I M F	E M F	L M P	H M P	-	-
						BI	M I	A I	BI	M I	AI				1 E	2E	3E	1 M P	2 M P	3 M P															
Operações Florestais	Preparação do terreno	Limpeza	x			-			-			-	x	-	-	x		x			x		-	x	x		x			x			x	x	
		Escarificação	x			-			-			-	x	-	-	x		x			x		-	x	x			x			x		x	x	
		Remoção de cepos	-			-			-			-	-	-	-	x		-					-	-				-			-		-	-	
		Aplicação de fertilizante	x								x		-	x	-	-	x		x				-		x		-	x			x		x	x	
		Remoção de cepos	-			-			-			-	-	-	-	-		-					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Instalação dos povoamentos florestais	Plantação	x			x			-		x		x	x	x			-				x	x	x	x	x	x	x			x		x	x	
		Regeneração natural	x			-			-		-		-	-	x		-		-	x			-	-	-	-	-	-	-	-	x		x	x	
		Protecção metálica (redes, ...)	-			-			-		-		-	-	x		-		-				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Estacas amarradas às mudas		-			-			-		-		-	-	x		-		-				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Tabela 3.– Identificação das fronteiras dos sistemas (cont.)

			Artigo																			
			Berg e Lindholm (2005)	Johnson, et al. (2005)			White, et al. (2005)	González-García, et al. (2009)	Oneil, et al. (2010)	Cambria e Pierangeli (2012)	Dias e Arroja (2012)		May, et al. (2012)	England, et al. (2013)	González-García, et al. (2013a)	González-García, et al. (2013b)	González-García, et al. (2014a)	González-García, et al.( 2014b)	Michelsen, et al (2008)			
Cenários			N C S	Sudeste B M AI I I I			Pacífico Nordeste B M AI I I I	-	-	-	-	Eucalipto 1 2 3 E E E	Pinheiro 1 2 3 P P P	-	-	ES E I	IS I S	-	I I E L H M M M M F F P P	-	-	
Operações Florestais	Condução dos povoamentos florestais		Controlo infestantes	-	-	-	-	x	-	x	-	-	-	-	-	M	M	-	M	-	x (Q, M)	x
			Desbaste	-	-	x	-	x	-	-	-	x	-	-	-	x	x	x	x	x	x	-
			Seleção de varas	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Fertilização	-	x	-	-	-	-	x	x	x	-	-	x	x	-	-	x	-	-	-
			Poda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x	x	-	x	-	x	x	-
	Exploração florestal		Corte final	x	x	-	-	-	M; m	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-
			Processamento	x	x	-	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	-	x
			Recheia e Extração	-	x	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x
			Carga em camião	-	x	-	-	-	x	-	-	x	x	x	-	x	x	x	x	-	x	x
	Estabelecimento da rede viária e divisional.		Construção de infraestruturas	x	-	-	x	x	-	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	-	x
			Manutenção de infraestruturas	x	-	-	-	x	-	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x	x	-	x
			Construção de aceiro	x	-	-	-	-	-	-	-	x	x	-	-	x	x	x	x	x	-	-
Manutenção de aceiro			x	-	-	-	-	-	-	-	x	x	-	-	x	x	x	x	x	-	-	

---

Q – químico

1E – gestão de alta intensidade de eucalipto com recurso às melhores técnicas de gestão florestal com utilização de *harvester* e *forwarder* no corte e recolha

2E – gestão de alta intensidade eucalipto com recurso às melhores técnicas de gestão florestal com utilização de motosserra e tractor agrícola no corte e recolha

3E – gestão de baixa intensidade de eucalipto

1MP – gestão de alta intensidade de pinheiro com recurso às melhores técnicas de gestão florestal com utilização de *harvester* e *forwarder* no corte e recolha

2MP – gestão de alta intensidade de pinheiro com recurso às melhores técnicas de gestão florestal com utilização de motosserra e tractor agrícola no corte e recolha

3MP – gestão de baixa intensidade de pinheiro

IMF – Cenário de gestão intensiva em França

EMF – Cenário de gestão extensiva em França

LMP – Cenário de gestão de baixa intensidade extensiva em Portugal

HMP – Cenário de gestão de alta intensidade em Portugal

N – Norte

C – Centro

S – Sul

AI – Alta intensidade

MI – Média Intensidade

BI – Baixa intensidade

x – Operação realizada sem referir se é mecânica ou manual

#### 4.1.3 UNIDADE FUNCIONAL

A unidade funcional é definida como o desempenho quantificado de um sistema de produto para utilização como unidade de referência (NP EN 14040:2008). A unidade funcional vai permitir que os resultados sejam comparáveis. Na tabela 4 pode-se verificar as unidades funcionais adoptadas nos estudos analisados.

Tabela 4.– Identificação das unidades funcionais

Artigos	Unidade Funcional
Berg e Lindholm (2005)	1m <sup>3</sup> de madeira sem casca entregue na fábrica
Johnson <i>et al.</i> (2005)	1 m <sup>3</sup> de toros de madeira cortados
White <i>et al.</i> (2005)	1 tonelada de carbono
Michelsen, <i>et al.</i> (2008)	1m <sup>3</sup> de madeira sem casca em toros entregue à porta da fábrica
González-García <i>et al.</i> (2009)	1m <sup>3</sup> (40% de humidade) de madeira em toros sem casca para pasta entregue na fábrica
Oneil <i>et al.</i> (2010)	1 m <sup>3</sup> de toros de madeira cortados
Cambria e Pierangeli (2012)	1m <sup>3</sup> de toros de madeira seca (12% de humidade) sem casca
Dias e Arroja (2012)	1m <sup>3</sup> de toros de madeira verde (40% de humidade) sem casca
May <i>et al.</i> (2012)	1m <sup>3</sup> de toros de madeira produzidos
England <i>et al.</i> (2013)	1m <sup>3</sup> de toros de madeira verde sem casca entregue à porta da fábrica
González-García, <i>et al.</i> (2013a)	1 rotação de Abeto de Douglas em regime extensivo
González-García, <i>et al.</i> (2013b)	1m <sup>3</sup> de toros de madeira com casca
González-García, <i>et al.</i> (2014a)	1 m <sup>3</sup> de toros de madeira verde sem casca prontos a entregar na indústria
González-García, <i>et al.</i> (2014b)	1m <sup>3</sup> /ano

#### 4.1.4 ALOCAÇÃO

A alocação é necessária no caso de existirem produtos múltiplos e sistemas de reciclagem (NP EN 14040:2008). No caso dos estudos de ACV na produção de madeira, maioritariamente é considerado apenas um produto que é a madeira para utilização pela indústria, pois os resíduos de biomassa resultantes de processos de desbaste e poda normalmente ficam no terreno e contribuem para melhorar a qualidade do solo. Assim, a maioria dos estudos não efectua alocação. No entanto May *et al.* (2012) e England, *et al.* (2013) efectuem alocação de carácter económico aos produtos da madeira, ou seja consideram o valor económico da madeira para produção de papel, de madeira serrada e de aparas de madeira.

#### 4.1.5 CARBONO BIOGÉNICO

A maioria dos estudos considera que a absorção de CO<sub>2</sub> pelo crescimento da biomassa é igual à quantidade de CO<sub>2</sub> libertada para o ambiente após oxidação da biomassa, no final do seu ciclo de vida. Ou seja, consideram que a produção de biomassa de madeira está num estado estacionário em relação ao carbono. No entanto, Johnson *et al.* (2005) e Oneil *et al.* (2010) efectuem a análise ao carbono emitido e ao removido da atmosfera. Já White *et al.* (2005) avalia o carbono biogénico e o carbono industrial referente às operações de gestão florestal.

#### 4.1.6 RESULTADOS

Dos vários estudos em análise verifica-se que as categorias de impacte analisadas são sensivelmente as mesmas, ou seja:

- Aquecimento global;
- Depleção da camada de ozono;
- Acidificação terrestre;
- Eutrofização da água doce
- Eutrofização marinha;
- Formação de oxidantes fotoquímicos;
- Depleção dos recursos hídricos;

- Depleção dos recursos minerais;
- Depleção dos combustíveis fósseis.

No entanto também são apresentadas categorias de impacte menos comuns, como por exemplo o uso agrícola do solo, ecotoxicidade marinha, da água e terrestre e toxicidade humana apresentados por González-García, *et al.* (2013b). No caso de Oneil, *et al.* (2010), os impactes menos comuns referidos são os carcinogénicos, orgânicos respiratórios e inorgânicos respiratórios.

Na avaliação destes impactes são utilizados essencialmente dois métodos, o ReCiPe e o CML como se verifica na tabela 5. No caso do aquecimento global são usados factores de caracterização essencialmente do IPCC. No entanto, existem estudos que utilizam outros métodos, como é o caso de Berg e Lindholm (2005) e González-García, *et al.* (2009) que utilizam os critérios de Swedish Environmental Management Council's (SEMC) e o caso de Johnson, *et al.* (2005) e Oneil, *et al.* (2010) que utilizam o Eco-indicator 99.

De seguida procede-se a uma breve descrição dos métodos mais utilizado nos estudos em análise, nomeadamente o CML, o ReCiPe e o Eco-indicator 99.

O manual CML 2002 (Guinée *et al.* 2002) surge no seguimento do manual CML 1992 (Heijungs *et al.* 1992). O seu objetivo é fornecer as melhores práticas para operacionalizar a série de normas ISO 14040. Ao nível da avaliação de impactes, o manual fornece indicadores do ponto médio (*midpoint*), inclui métodos recomendados para a normalização, mas não recomenda métodos para a ponderação (ILCD 2010a).

O Eco-indicator 99 (Frischknecht *et al.* 2000) foi desenvolvido com o objetivo de simplificar a interpretação e ponderação dos resultados. No momento da publicação ele continha vários novos princípios, tais como o uso da abordagem de danos, bem como a utilização de três perspectivas como uma forma de lidar com as escolhas subjetivas sobre o nível de ponto final (hierárquico, individualista e igualitária) (ILCD 2010a).

O método ReCiPe (Goedkoop *et al.* 2009) é uma evolução dos métodos Eco-Indicator 99 e CML 2002, que integra e harmoniza a abordagem de ponto médio e de ponto final (*endpoint*) numa estrutura consistente. Embora inicialmente se pretender a integração de ambos os métodos, todas as categorias de impacte foram reconstruídas e actualizadas (excepto a radiação ionizante).

O SEMC (SEMC, 2000) está relacionado com a declaração ambiental de produto (DAP) do sistema Environdec. A DAP é um documento verificado que relata dados ambientais

dos produtos com base na ACV e outras informações relevantes, e em conformidade com a norma internacional ISO 14025 (Declarações Ambientais do tipo III).

Tabela 5.– Métodos de ACV

Artigos	Método de avaliação de impactes	Software
Berg e Lindholm (2005)	Swedish Environmental Management Council's (SEMC)	-
Johnson, <i>et al.</i> (2005)	Eco-indicador 99 (E)/Europe EI 99 E/E	SimaPro 5.09
White, <i>et al.</i> (2005)	-	-
Michelsen, <i>et al.</i> (2008)	CML 2 baseline	-
González-García, <i>et al.</i> (2009)	SEMC 2000 e IPCC (2001) para o aquecimento global	SimaPro 7.1
Oneil, <i>et al.</i> (2010)	Eco-indicador 99 (E)/Europe EI 99 E/E	SimaPro 7.0.2
Cambria e Pierangeli(2012)	CML 2 baseline 2000	SimaPro
Dias e Arroja (2012)	CML 2001 e IPCC (2007) para o aquecimento global	-
May, <i>et al.</i> (2012)	-	SimaPro 7.1
England, <i>et al.</i> (2013)	-	SimaPro 7.1
González-García, <i>et al.</i> (2013a)	ReCiPe Midpoint e IPCC (2007) para o aquecimento global	SimaPro 7.3.3
González-García, <i>et al.</i> (2013b)	ReCiPe Midpoint e IPCC (2007) para o aquecimento global	SimaPro 7.3.3
González-García, <i>et al.</i> (2014a)	ReCiPe Midpoint	SimaPro 7.3.2
González-García, <i>et al.</i> (2014b)	CML 2001	-

- Informação não disponibilizada

Nas figuras 3 a 13, bem como na tabela A.1 do anexo A, é efectuada a comparação entre os estudos que utilizam o método ReCiPe, nomeadamente González-García, *et al.* (2013a), González-García, *et al.* (2013b) e González-García, *et al.* (2014a).



Uma vez que, os estudos apresentavam unidades funcionais diferentes, e de forma a poder-se efectuar uma comparação directa de resultados iniciou-se por efectuar a conversão para a mesma unidade funcional, ou seja, 1 m<sup>3</sup> de toros de madeira sem casca. Assim, os valores apresentados quer na tabela 6 do anexo A quer nas figuras já são comparáveis directamente.

No caso de González-García, *et al.* (2013a), a unidade funcional escolhida foi uma rotação de Abeto de Douglas em regime extensivo, no entanto refere que os volumes (com casca) produzidos por rotação são 1133 m<sup>3</sup> no ES e 1320 m<sup>3</sup> no IS e que a percentagem de casca no tronco é de 13%. Adicionalmente também refere que uma rotação no cenário extensivo equivale a 1,3 rotações no cenário intensivo. Com estes dados foi possível transformar os resultados apresentados no estudo para 1 m<sup>3</sup> de madeira sem casca e assim poder compará-los com outros estudos.

Relativamente a González-García, *et al.* (2013b), a unidade funcional escolhida foi 1 m<sup>3</sup> de toros de madeira com casca, no entanto o estudo refere que a percentagem de casca é de 13%, pelo que 1 m<sup>3</sup> de madeira com casca equivale a 0,87 m<sup>3</sup> de madeira descascada.

No caso de González-García, *et al.* (2014a) a unidade funcional escolhida foi 1 m<sup>3</sup> de toros de madeira sem casca, pelo que não foi necessário efectuar qualquer conversão.

O impacte aquecimento global está associado ao consumo de combustíveis fósseis durante as operações de gestão florestal e às consequentes emissões de gases com efeito de estufa, principalmente CO<sub>2</sub>. Na figura 3 verifica-se que os resultados obtidos para esta categoria de impacte variam entre 2,7 e 27,3 kg CO<sub>2</sub> eq por m<sup>3</sup> de madeira sem casca. O valor mais elevado para este impacte é o do cenário EMF (cenário de gestão extensiva de pinheiro bravo em França) do estudo de González-García *et al.* (2014a). O cenário EMF difere do cenário IMF (cenário de gestão intensiva de pinheiro bravo em França) pois apresenta um tempo de vida útil superior (47 anos no EMF e 28 anos no IMF) e um rendimento menor (279 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> no IMF e 240 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> no EMF). Nas fronteiras deste cenário entram mais actividades de grande consumo de combustíveis tais como a poda, plantio em linha e escarificação. O valor mais baixo está associado à produção de madeira de abeto de Douglas na Alemanha devido ao menor consumo de combustíveis fósseis.

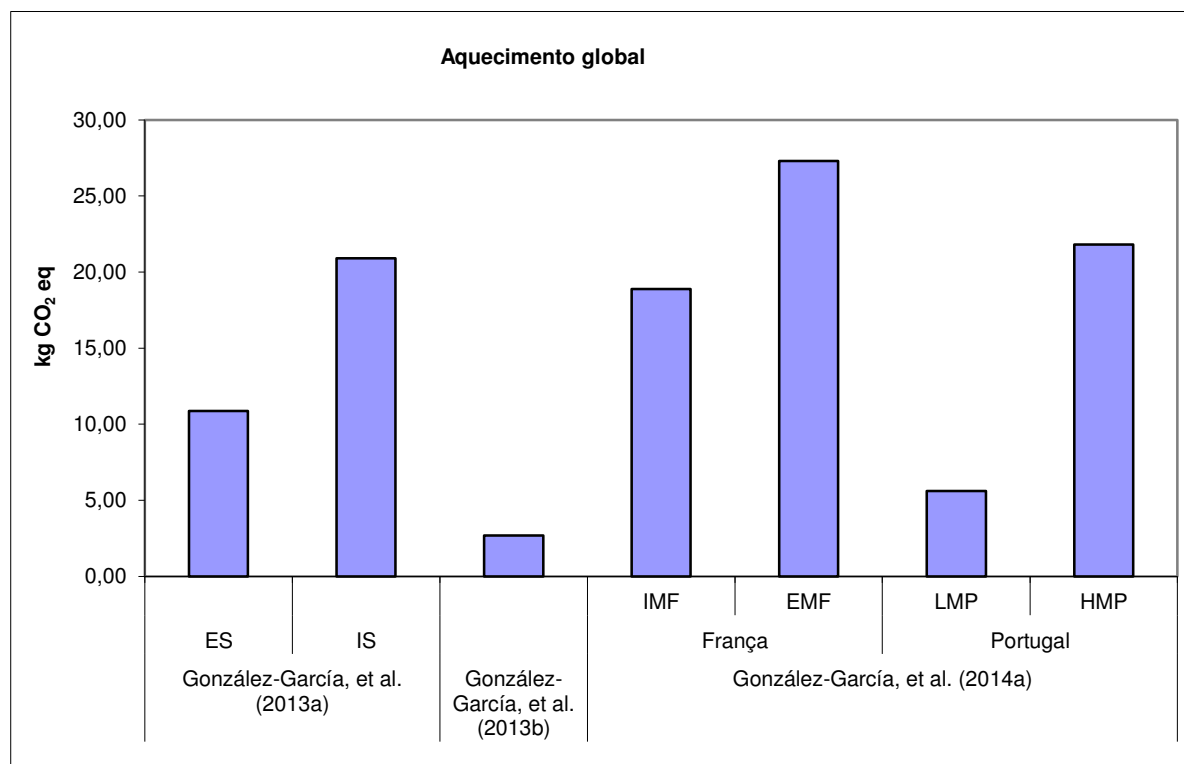


Figura 3 – Análise do impacte aquecimento global – método ReCiPe

A depleção da camada de ozono (figura 4) varia entre  $3,22 \times 10^{-4}$  e  $3,6 \times 10^{-3}$  gCFC-11 eq por m<sup>3</sup> de madeira sem casca sendo mais elevada no cenário EMF do estudo de González-García *et al* (2014a), e resulta essencialmente das emissões derivadas da produção de combustíveis fósseis como também do Halon 1301. O valor mais baixo para este impacte é o da produção de Abeto de Douglas na Alemanha do estudo de González-García *et al* (2013b), ao qual está associado um menor consumo de combustíveis fósseis.

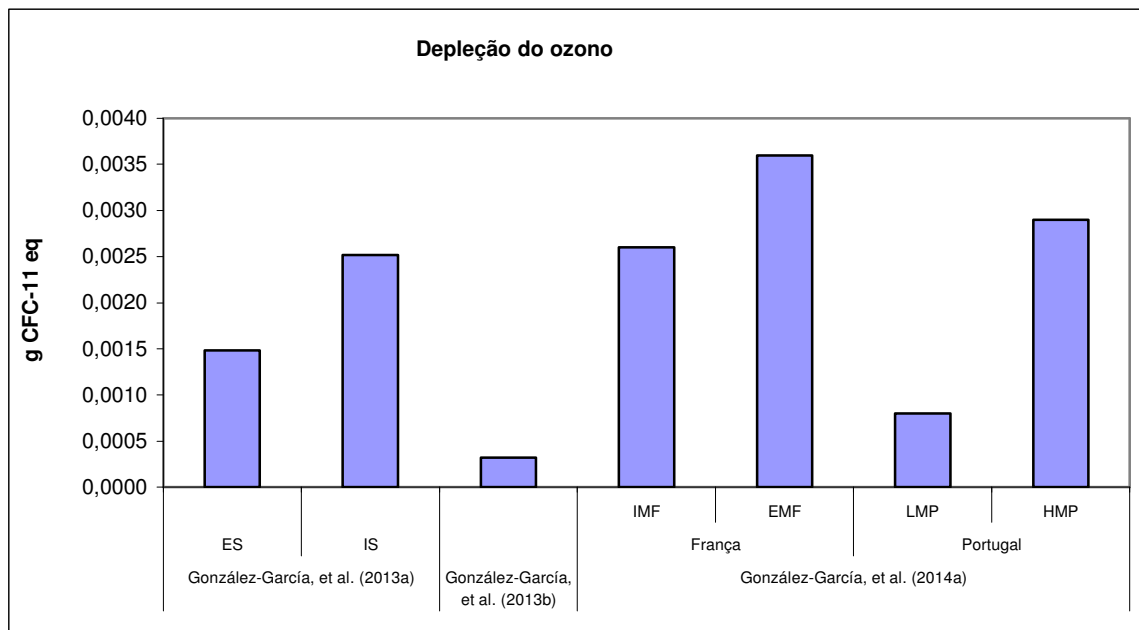


Figura 4 – Análise do impacte depleção do ozono – método ReCiPe

A acidificação terrestre varia entre 0,02 e 0,17 kg SO<sub>2</sub> eq por m<sup>3</sup> de madeira sem casca (figura 5), é mais elevada no cenário EMF do estudo de González-García *et al* (2014a), sendo essencialmente afectada pelas emissões para o ar maioritariamente de NO<sub>x</sub>, resultantes da queima de combustível nos vários equipamentos mecânicos de gestão florestal. O valor mais baixo para este impacte, tal como nas categorias de impacte anteriores e pelo mesmo motivo, é o da produção de Abeto de Douglas na Alemanha do estudo de González-García *et al* (2013b).

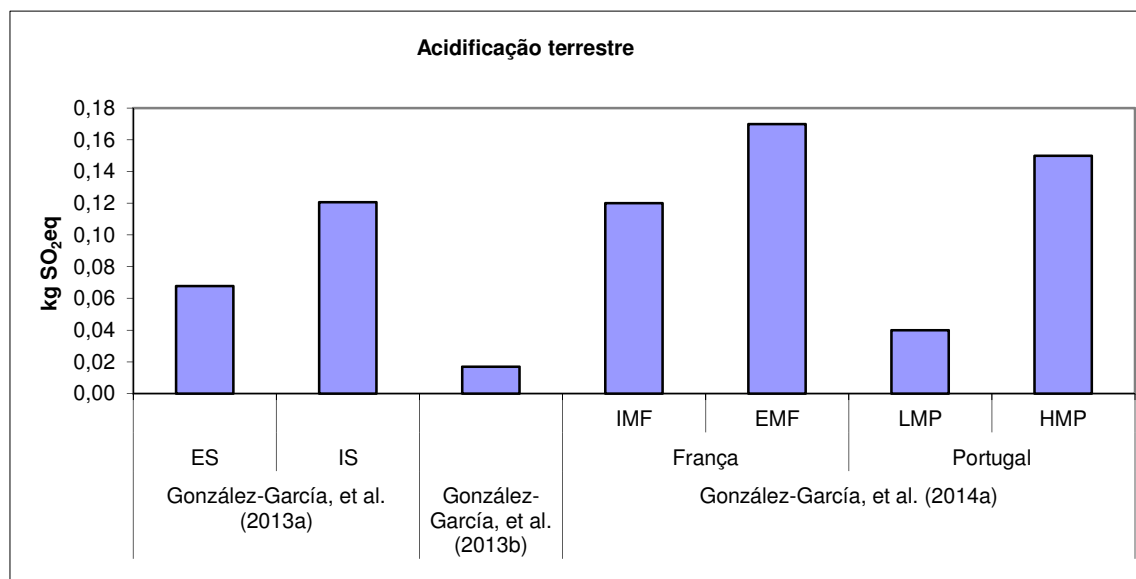


Figura 5 – Análise do impacte acidificação terrestre – método ReCiPe

A eutrofização marinha (figura 6) apresenta valores entre 0,0026 e 0,0094 kg N eq por m<sup>3</sup> de madeira sem casca, sendo o valor mais elevado o do cenário EMF do estudo de González-García *et al* (2014a), resultando da emissão de produtos de combustão como o NOx. Nesta categoria o valor mais baixo é o do cenário LMP do mesmo estudo, o que deverá à ausência de diversas operações florestais durante todo o ciclo de vida o que implica um menor consumo de combustíveis fósseis.

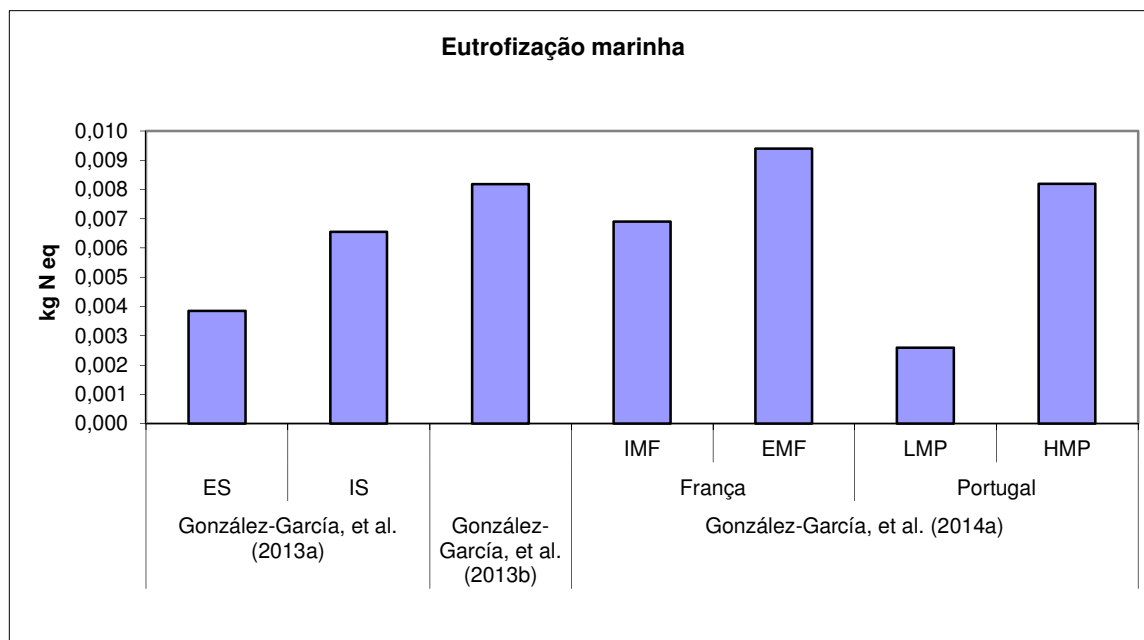


Figura 6 – Análise do impacte eutrofização marinha – método ReCiPe

A eutrofização da água doce (figura 7) varia entre 0,0006 e 0,01 kg P eq por m<sup>3</sup> de madeira sem casca sendo mais elevada no cenário HMP do estudo de González-García *et al* (2014a), e resulta da emissão de fosfatos para a água resultantes da produção e aplicação de fertilizante bem como da produção de máquinas florestais. O valor mais baixo nesta categoria é o do cenário LMP do mesmo estudo o que se deverá à ausência de fertilização e produção de fertilizantes neste cenário.

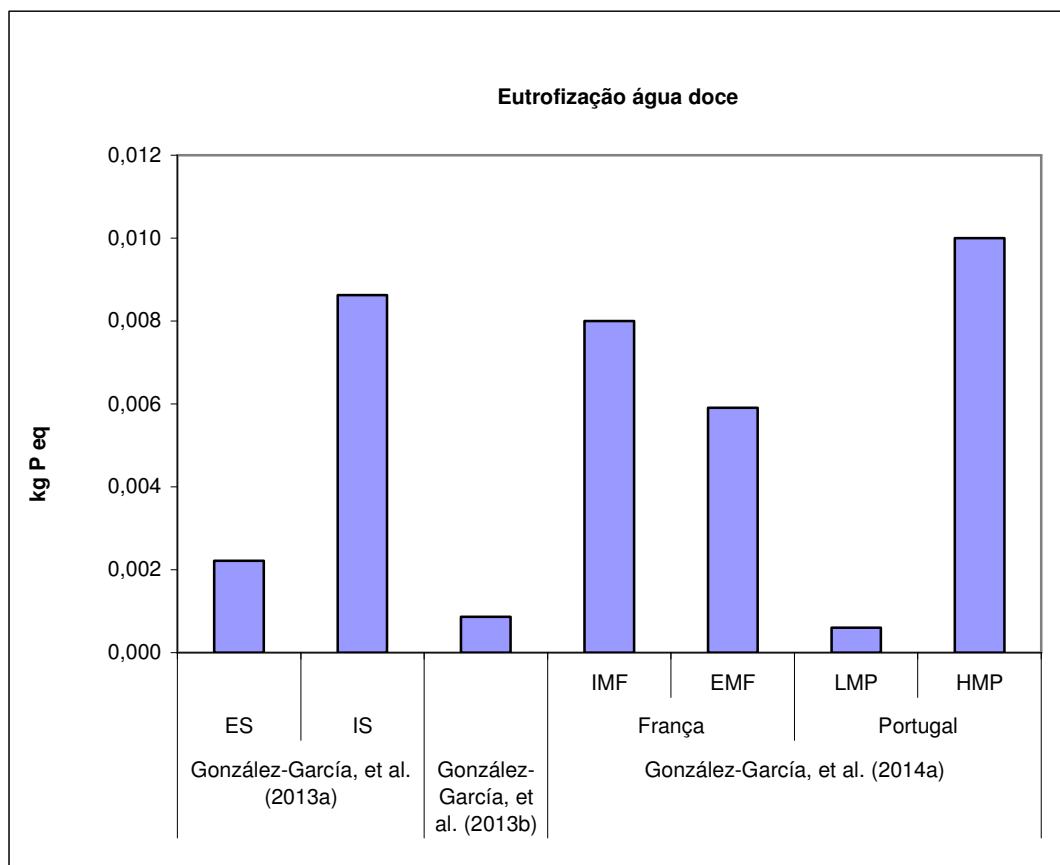


Figura 7 – Análise do impacte eutrofização da água doce – método ReCiPe

A formação de oxidantes fotoquímicos (figura 8) apresenta valores entre 0,03 e 0,28 kg NMVOC por m<sup>3</sup> de madeira sem casca, sendo mais elevada no cenário EMF do estudo de González-García *et al* (2014a), resultando da emissão de produtos de combustão como o NO<sub>x</sub> principalmente na fase de exploração florestal. O valor mais baixo é o do cenário LMP do mesmo estudo.

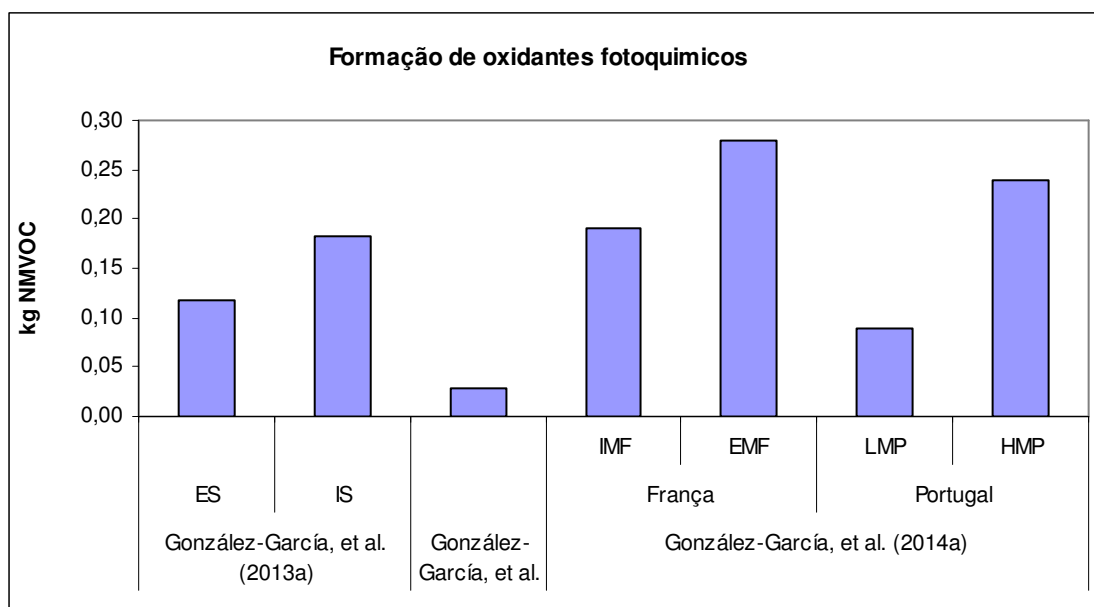


Figura 8 – Análise do impacte formação de oxidantes fotoquímicos – método ReCiPe

A depleção dos recursos minerais (figura 9) apresenta valores entre 0,0005 e 0,0067 t Fe eq por m<sup>3</sup> de madeira sem casca sendo mais elevada no cenário IS do estudo de González-García *et al* (2013a), resultando da fase do estabelecimento de plantas e preparação do terreno. Este impacte avalia o consumo mineral que ocorre através dos processos geológicos. O valor mais baixo é o do estudo González-García *et al* (2013b).

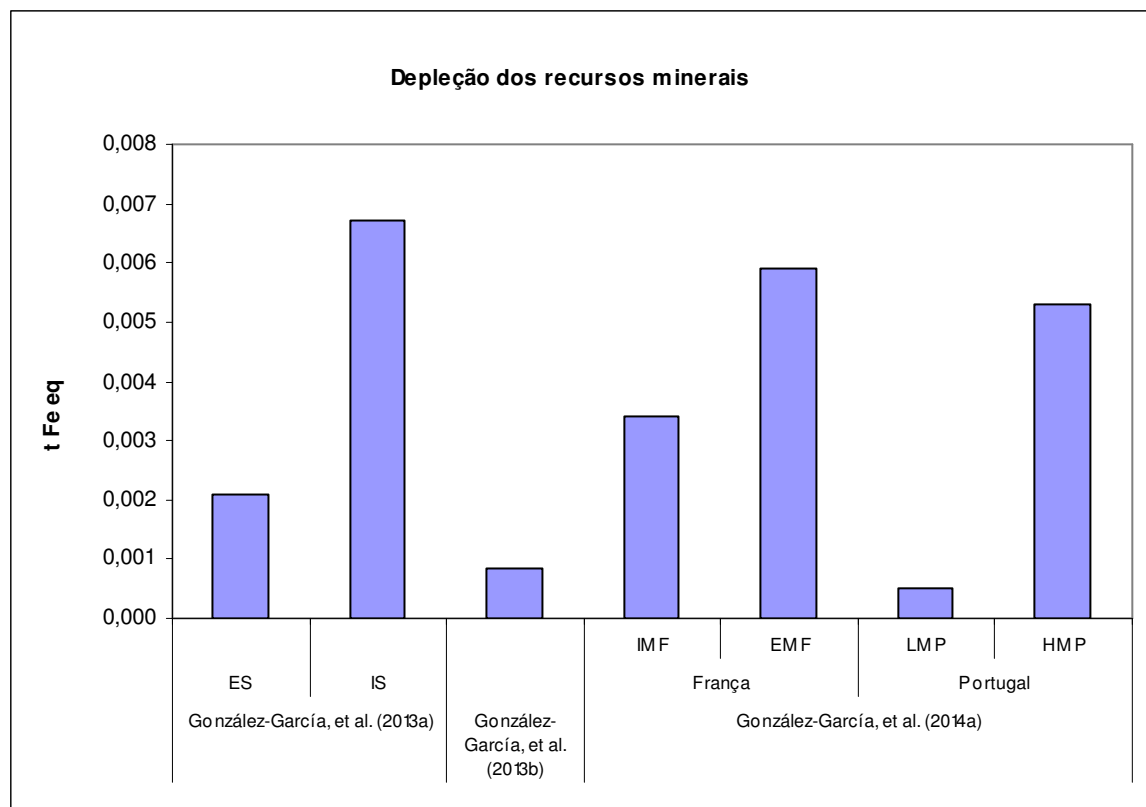


Figura 9 – Análise do impacte depleção dos recursos minerais – método ReCiPe

A depleção de combustíveis fósseis (figura 10) varia entre 0,00092 e 0,00960 t petróleo eq por m<sup>3</sup> de madeira sem casca, sendo o valor superior o do cenário EMF do estudo de González-García *et al* (2014a), resultando do consumo de combustíveis fósseis principalmente durante a fase de estabelecimentos de plantas e preparação do solo (consideradas em conjunto).

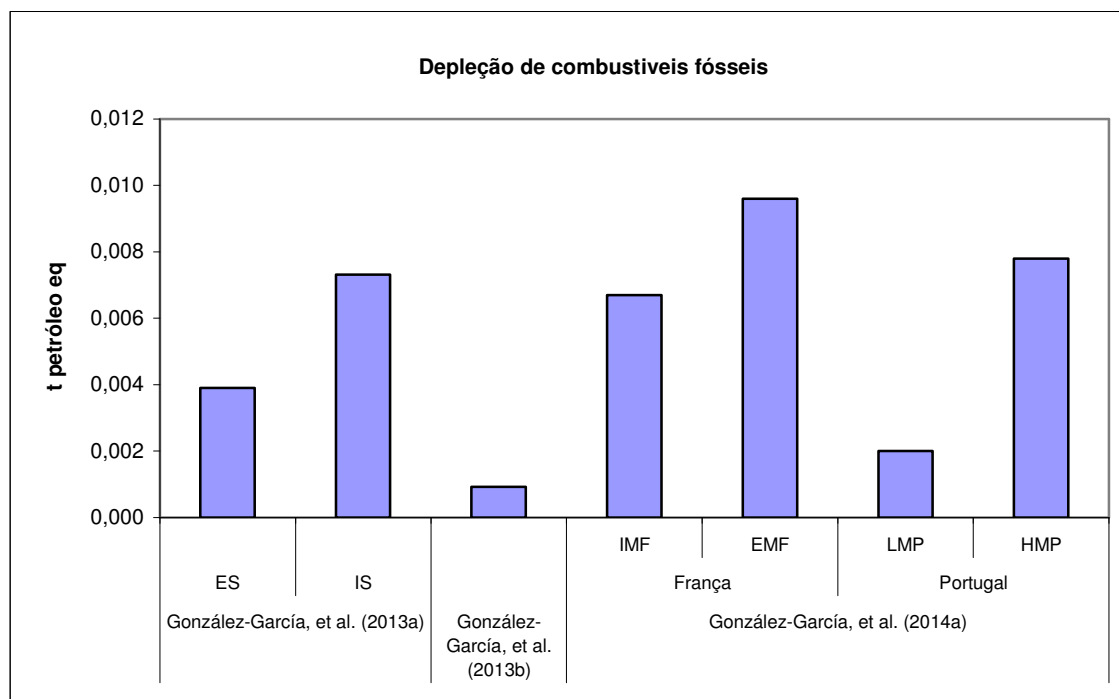


Figura 10 – Análise do impacto depleção dos combustíveis fósseis – método ReCiPe

A depleção da água (figura 11) apresenta valores entre 0,03 e 105,5 dm<sup>3</sup> por m<sup>3</sup> de madeira sem casca sendo mais elevada no cenário HMP do estudo de González-García *et al* (2014a). Este impacto resulta do consumo de água durante a produção de diferentes entradas no sistema, tais como máquinas, fertilizantes e combustíveis fósseis, ou seja compreende as necessidades de água. O valor mais baixo é o da produção de abeto de Douglas na Alemanha do estudo de González-García *et al* (2013b).



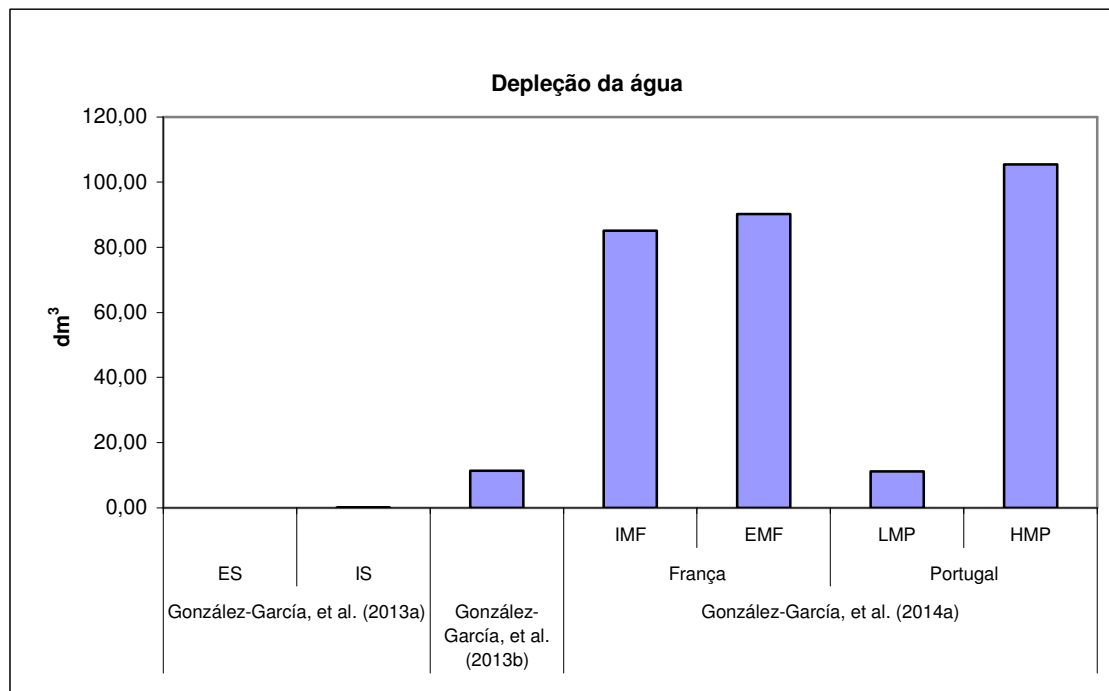


Figura 11 – Análise do impacte depleção da água– método ReCiPe

A toxicidade humana (figura 12) varia entre 1,48 e 9,10 kg 1,4-DCB eq por m<sup>3</sup> de madeira sem casca e é mais elevada no cenário HMP do estudo de González-García *et al* (2014a). Este impacte resulta essencialmente da fase de exploração florestal, estando essencialmente associado à emissão de substâncias (magnésio, zinco e chumbo) para a água durante a produção de máquinas florestais. O cenário EMF apresenta um valor próximo deste, mas neste caso as fases que mais contribuem para esta categoria são a preparação do terreno e a condução dos povoamentos florestais.

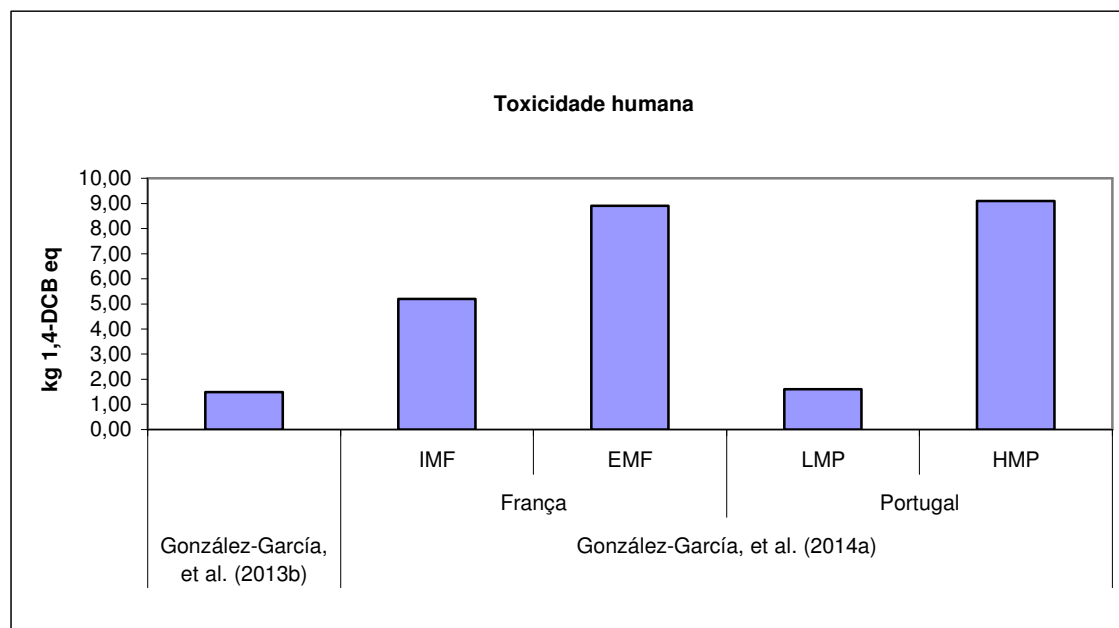


Figura 12 – Análise do impacte toxicidade humana – método ReCiPe

As categorias de ecotoxicidade avaliam a toxicidade resultante do nível de químicos (essencialmente metais) na água doce e salgada e no solo. Pela figura 13 verifica-se que a ecotoxicidade marinha varia entre 0,02 e 24,47 g 1,4-DCB eq por m<sup>3</sup> de madeira sem casca, sendo o valor mais elevado o do estudo de González-García *et al* (2013b) sendo resultante da fase de estabelecimento de plantas e preparação do solo.

No caso da ecotoxicidade da água doce o valor mais elevado é o do cenário EMF e da ecotoxicidade terrestre é o do cenário HMP, ambos do estudo de González-García *et al* (2014a). Ambos os impactes são principalmente afectados por emissões de níquel para a água resultantes da produção de máquinas florestais.

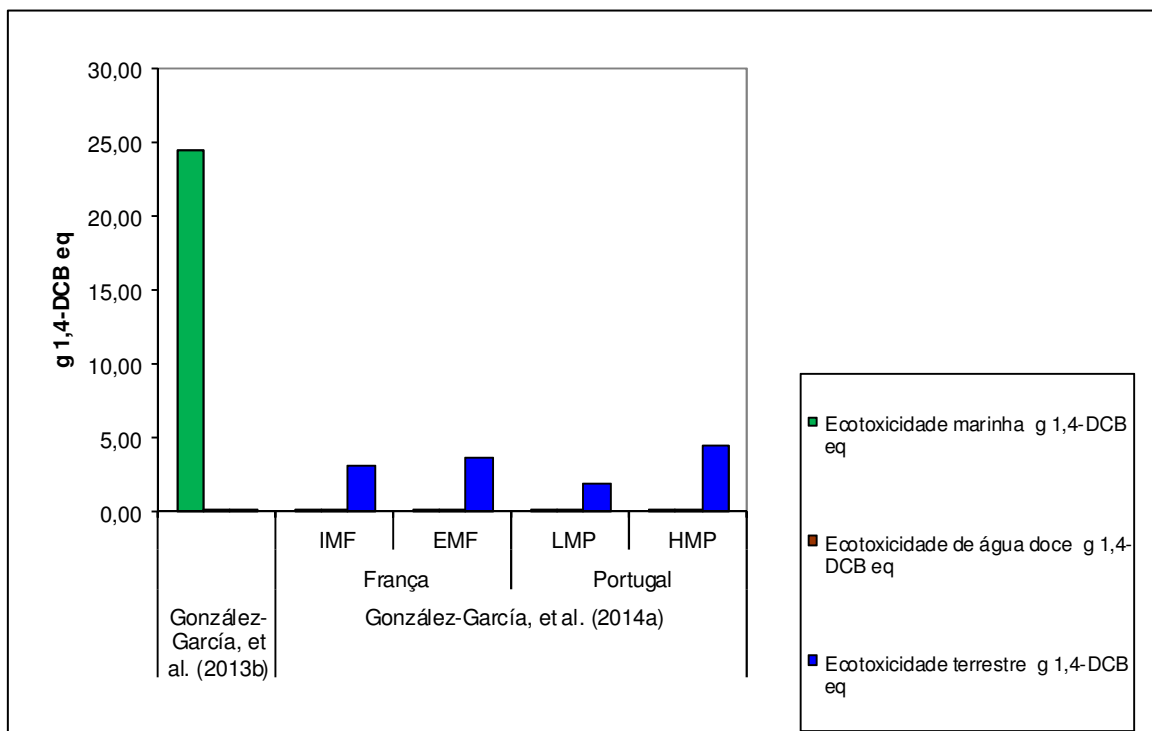


Figura 13 – Análise do impacte ecotoxicidade marinha, da água doce e terrestre – método ReCiPe

Resumindo, na análise das figuras 3 a 13, verifica-se que tendencialmente o cenário de gestão extensiva em França no estudo realizado por González-García, *et al.* (2014a). é o que apresenta valores mais elevados para os diversos impactes ambientais, com excepção da eutrofização de água doce, ecotoxicidade terrestre e da água doce em que os valores mais elevados são os do cenário HMP do mesmo estudo e da ecotoxicidade marinha em que o valor mais elevado é o de González-García, *et al.* (2013b).

Na tabela A. 2. do anexo A apresentam-se os resultados do estudo de Gonzalez-Garcia *et al* (2014b) que usa o método CML e já ele próprio faz uma comparação entre diversos estudos, pelo que os resultados são apresentados para a mesma unidade funcional ( $m^3/ano$ ).

As figuras 14 a 17 apresentam a comparação entre os resultados para as categorias de impacte ambiental analisadas.

O aquecimento global, pela figura 14 varia entre 0,05 e 2,69 kg de CO<sub>2</sub> eq por m<sup>3</sup>/ano. O cenário que apresenta o valor mais elevado é o cenário Sc2 que corresponde a um cenário de gestão de alta intensidade na produção de salgueiro na Suécia. Este valor resulta essencialmente da produção e aplicação de fertilizantes que resulta na libertação de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O. O cenário que apresenta o valor mais baixo é o Sc11 que se trata da produção de abeto de Douglas na Alemanha.

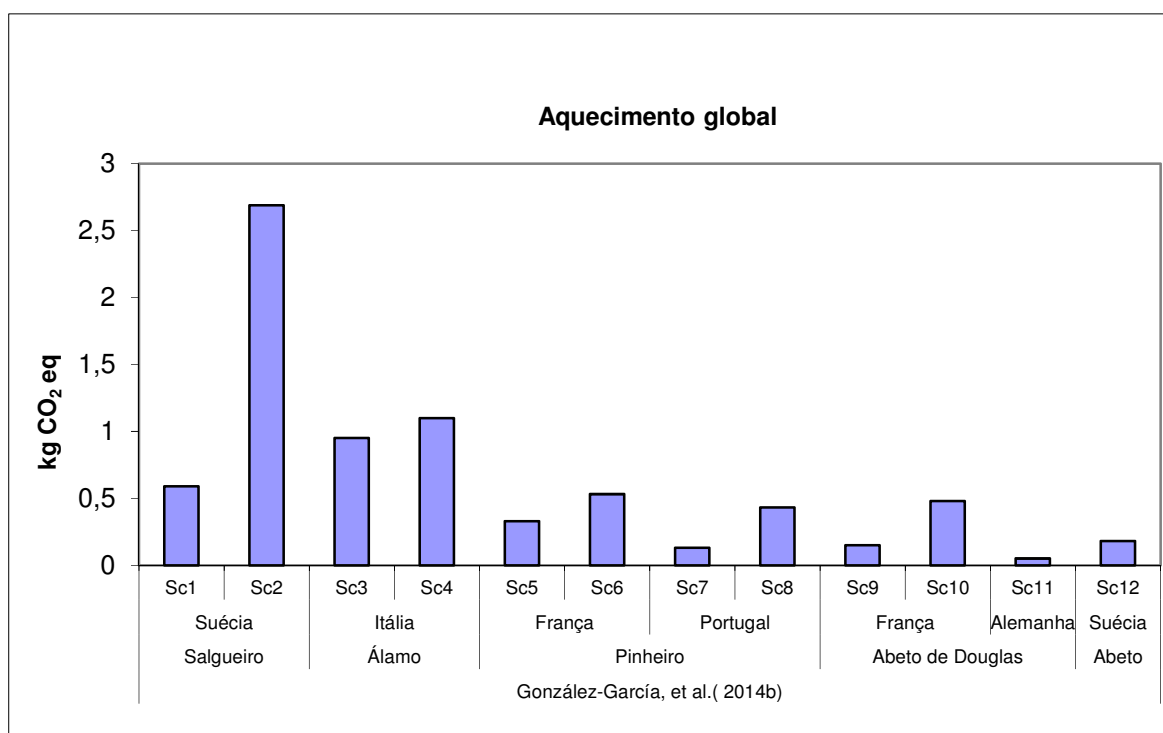


Figura 14 – Análise do impacte aquecimento global – Método CML

Pela figura 15 verifica-se que a acidificação varia entre 0,29 e 27,30 g SO<sub>2</sub>eq por m<sup>3</sup>/ano sendo o valor mais elevado no cenário Sc4 correspondente a madeira de álamo no cenário de gestão de baixa intensidade. Este cenário envolve medidas de corte a cada 2 anos, inúmeros controlos de infestantes e taxas de fertilização elevadas. A acidificação resulta maioritariamente das emissões difusas da fertilização e também das emissões de combustão das máquinas florestais. O cenário com o valor mais baixo é o Sc11 que se trata da produção de abeto de Douglas na Alemanha, possivelmente, porque envolve largos tempos de vida útil da biomassa, praticamente sem utilização de fertilizantes e sem actividades de desbaste com recurso a grandes máquinas. Trata-se de um cenário

com um rácio entre as necessidades de combustíveis fósseis por unidade funcional muito baixo.

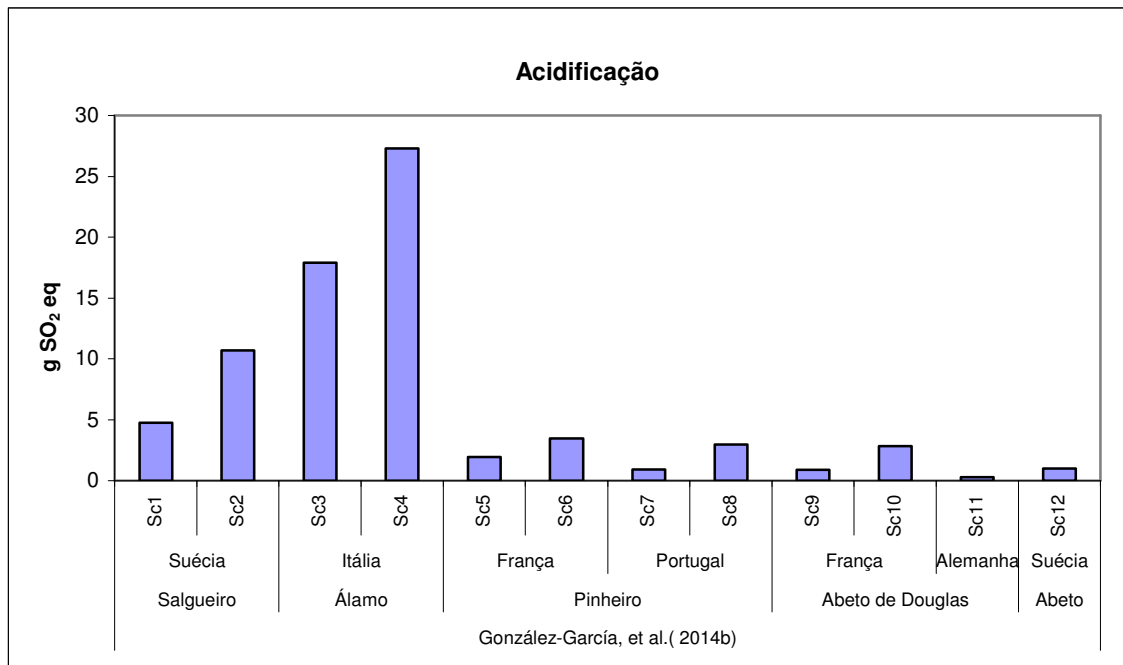


Figura 15 – Análise do impacte ambiental acidificação – Método CML

A formação de oxidantes fotoquímicos, pela figura 16 varia entre 0,01 e 0,17 gC<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq por m<sup>3</sup>/ano e é mais elevada no cenário Sc2 que corresponde a um cenário de gestão de alta intensidade na produção de salgueiro na Suécia, resultando essencialmente da produção de fertilizantes minerais. As substâncias que mais contribuem para esta categoria são o SO<sub>2</sub> e o CO. O cenário com o valor mais baixo nesta categoria é novamente o Sc11 da produção de abeto de Douglas na Alemanha.

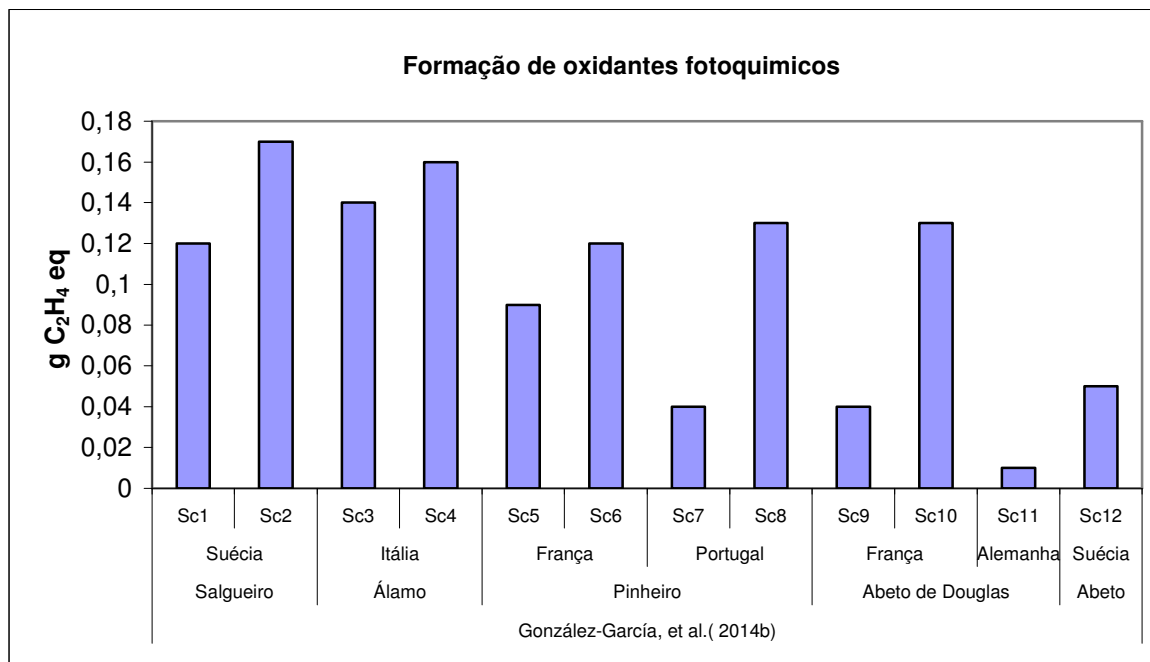


Figura 16 – Análise do impacte oxidação fotoquímica – Método CML

A eutrofização, pela figura 17 varia entre 0,10 e 23,30 g PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>eq por m<sup>3</sup>/ano. O cenário que apresenta o valor mais elevado é novamente o Sc2 e o valor mais baixo é novamente o do cenário Sc11. O valor mais elevado no cenário Sc2 resulta da grande quantidade de fertilizante à base de azoto aplicado, o que deriva na lixiviação de nitrato.

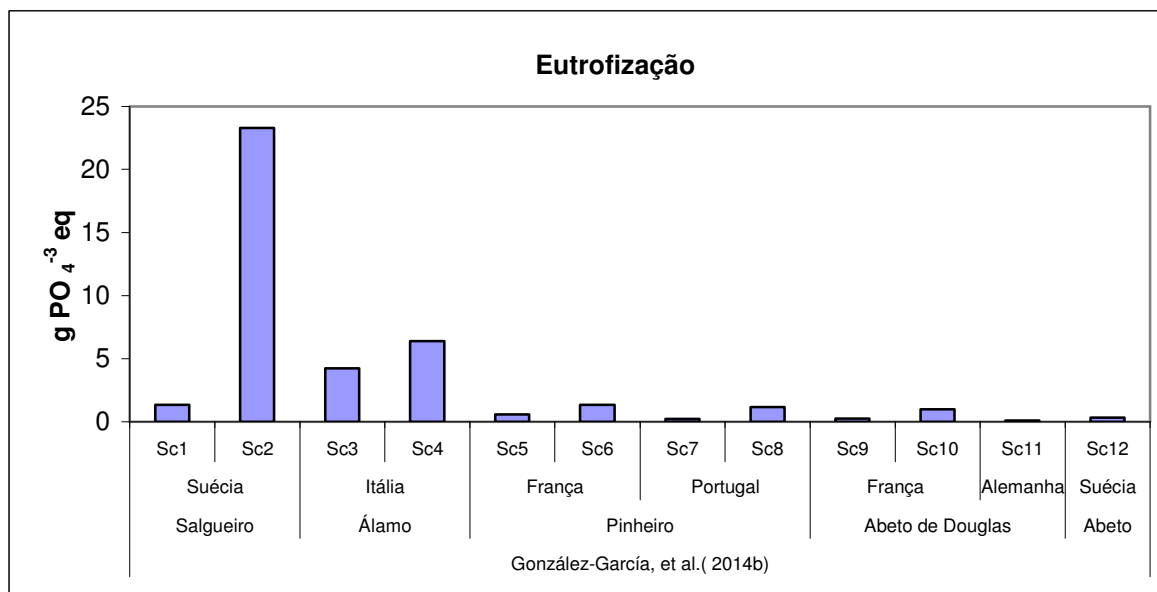


Figura 17 – Análise do impacte eutrofização – Método CML

Pela análise das figuras 14 a 17 verifica-se que o cenário que apresenta valores mais elevados para a maioria dos impactes é o Sc2, com a excepção da acidificação em que o cenário Sc4 é o que apresenta valores mais elevados.

A comparação directa dos restantes estudos não é possível devido à utilização de unidades funcionais ou factores de caracterização diferentes. Assim, nestes casos os resultados são apresentados em separado na tabela 6.

Tabela 6.– Resultados dos estudos em que não é possível a comparação directa

Artigos		Berg e Lindholm (2005)			Michelsen <i>et al</i> (2008)	Cambria e Pierangeli (2012)	Dias e Arroja (2012)					
Cenários		Norte	Centro	Sul	-	-	Eucalipto			Pinheiro		
							1E	2E	3E	1MP	2MP	3MP
Unidade Funcional		1m <sup>3</sup> de madeira sem casca entregue na fábrica			1m <sup>3</sup> de madeira sem casca em toros entregue à porta da fábrica	1m <sup>3</sup> de toros de madeira seca (12% de humidade) sem casca	1m <sup>3</sup> de toros de madeira verde sem casca					
Alteração climática	kg CO <sub>2</sub> eq	17,110	16,010	12,500	25,048	110,000	19,000	17,000	8,000	12,000	11,000	4,800
Depleção do ozono	g CFC-11 eq	-	-	-	-	0,010	-	-	-	-	-	-
Depleção abiótica	g Sb eq	-	-	-	-	450,000	100,000	90,000	60,000	80,000	70,000	30,000
Acidificação	g SO <sub>2</sub> eq	-	-	-	111,000	770,000	230,000	220,000	50,000	80,000	70,000	30,000
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq	-	-	-		46,800	-	-	-	-	-	-
Ecotoxicidade marinha	g 1,4-DB eq	-	-	-		198,000	-	-	-	-	-	-
Ecotoxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq	-	-	-		10,800	-	-	-	-	-	-
Oxidação fotoquímica	g C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	-	-	-	76,000	130,000	3,100	7,400	6,000	2,100	4,800	3,600
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq	-	-	-	-	200,000	-	-	-	-	-	-



Tabela 6.– Resultados dos estudos em que não é possível a comparação directa (cont.)

Artigos		Berg e Lindholm (2005)			Michelsen <i>et al</i> (2008)	Cambria e Pierangeli (2012)	Dias e Arroja (2012)					
Cenários		Norte	Centro	Sul	-	-	Eucalipto			Pinheiro		
							1E	2E	3E	1MP	2MP	3MP
Unidade Funcional		1m <sup>3</sup> de madeira sem casca entregue na fábrica			1m <sup>3</sup> de madeira sem casca em toros entregue à porta da fábrica	1m <sup>3</sup> de toros de madeira seca (12% de humidade) sem casca	1m <sup>3</sup> de toros de madeira verde sem casca					
Eutrofização	g PO4-3 eq	-	-	-	24,000	580,000	170,000	160,000	20,000	30,000	30,000	10,000
Formação de oxidantes fotoquímicos	POCP/m <sup>3</sup> s.u.b.	20,500	19,100	14,800	-	-	-	-	-	-	-	-
Acidificação	mol H <sup>+</sup> /m <sup>3</sup> s.u.b.	4,100	3,900	3,200	-	-	-	-	-	-	-	-
Eutrofização	g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> s.u.b.	965,000	929,000	732,000	-	-	-	-	-	-	-	-
Toxicidade humana potencial (ar, cancerígeno)	Kg benzeno eq	-	-	-	0,011	-	-	-	-	-	-	-
Toxicidade humana potencial (ar, não cancerígeno)	Kg tolueno eq	-	-	-	8,765	-	-	-	-	-	-	-

- Informação não disponibilizada

Pela tabela 6 verifica-se que no caso de Berg e Lindholm (2005) o pior cenário para todas as categorias de impacto é a produção de madeira no norte. Este facto deve-se essencialmente às necessidades de uso de energia serem superiores no norte (200MJ) do que no centro (187MJ) e sul (147MJ), sendo a operação florestal que mais consome energia o transporte secundário. O elevado consumo de combustível no transporte secundário está relacionado com a distância da floresta à fábrica.

No caso de Michelsen *et al* (2008) os processos responsáveis pelos impactes alteração climática, acidificação e eutrofização são a exploração florestal, o transporte para fora da floresta e para a fábrica. Já para a formação de oxidantes fotoquímicos e toxicidade humana, a construção das estradas florestais também têm uma elevada importância.

No estudo de Cambria e Pierangeli (2012) o factor que mais contribui para a depleção abiótica é a produção de combustível, para a acidificação são as actividades de estabelecimento e manutenção da plantação, para a eutrofização contribuem essencialmente as emissões difusas de azoto para o solo. No caso da alteração climática a produção de vedações é o que mais contribui para a emissão de CO<sub>2</sub>, na depleção da camada de ozono é a produção de combustíveis o maior responsável pelas emissões para esta categoria. Na categoria toxicidade humana é a manutenção das máquinas adoptadas para a escarificação e na ecotoxicidade é a produção das máquinas usadas para a plantação.

No estudo de Dias e Arroja (2012) são analisados duas espécies florestais (pinheiro e eucalipto) cada uma com 3 cenários diferentes de gestão florestal. Pela tabela 5 verifica-se que o cenário que apresenta os valores mais elevados é o 1E, com a excepção da oxidação fotoquímica em que o cenário 2E é o que apresenta valor mais elevado. No caso da depleção abiótica a exploração florestal é a fase que mais contribui para esta categoria de impacto. No caso da alteração climática a maior contribuição vem das emissões de CO<sub>2</sub> da queima de combustíveis durante as operações florestais. Relativamente à formação de oxidantes fotoquímicos o valor mais elevado do cenário 2E resulta essencialmente da emissão de SO<sub>2</sub> durante a queima de combustível.

No estudo de González-García, *et al.* (2009) os resultados, para cada categoria de impacto, são apresentados em percentagem considerando a contribuição da cada operação florestal. O estudo considera quatro categorias de impacto (alteração climática, eutrofização, acidificação e formação de oxidantes fotoquímicos). No caso do aquecimento global a silvicultura contribui em 27%, a exploração florestal em 41% e o transporte secundário em 32%. As emissões de CO<sub>2</sub> são as que dominam a contribuição para o aquecimento global seguidas por N<sub>2</sub>O e por CH<sub>4</sub>. Na eutrofização a silvicultura

contribui em 71%, a exploração florestal em 19% e o transporte secundário em 10%. Aqui as emissões associadas à aplicação de fertilizantes são as mais importantes, (óxidos de azoto e amónia para emitidos para o ar e fosfatos para a água). Na acidificação a silvicultura contribui em 34%, a exploração florestal em 41% e o transporte secundário em 25%, neste caso as emissões associadas aos combustíveis são as mais importantes (NOx e SOx). Na formação de oxidantes fotoquímicos a silvicultura contribui em 24%, a exploração florestal em 43% e o transporte secundário em 34%. Nesta categoria, as emissões mais importantes são as de hidrocarbonetos especialmente de compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVnm) e de compostos orgânicos voláteis (COV) formados na combustão incompleta de combustíveis fósseis.

O estudo de Johnson *et al.* (2005) refere que o software SimaPro permite a selecção do método para avaliar os impactes globais do ciclo de vida. Resumidamente, o método de avaliação quantifica os impactos do processo num conjunto de indicadores ambientais, incluindo, por exemplo, agentes cancerígenos, as alterações climáticas ou gases com efeito de estufa, a camada de ozono, a acidificação ou a eutrofização. Os índices associados a um determinado método de avaliação podem ser resumidos num único valor que representa a média ponderada dos efeitos ambientais por metro cúbico de madeira produzida. Embora a selecção de medidas e os valores de ponderação sejam arbitrárias, o método fornece um meio de objectivamente comparar os impactos ambientais de várias alternativas. Assim, neste caso foi usado o Eco-indicator 99 e os resultados apresentados não são comparáveis com os obtidos com os outros métodos e estão apresentados na tabela 6.

Tabela 7.– Comparação dos vários factores de impacte por cenário de gestão e região desenvolvido pelo método Ecoindicator 99 (E)/Europe EI 99 E/E

	Factor de impacte por m <sup>3</sup> de toros de madeira cortada	
Factor único de medição	Sudeste	Pacifico nordeste
Alta intensidade	1,227	0,802
Média intensidade	1,002	0,734
Baixa intensidade	0,785	0,661
Média para o caso base	0,932	0,713
Média para o caso alternativo	1,144	0,742

Por outro lado, Oneil, *et al.* (2010), apesar de utilizar o mesmo método de avaliação de impactes que Johnson *et al.* (2005), apresenta os resultados de forma diferente deste, ou seja, apresenta os resultados por categoria de impacte, conforme apresentado na tabela 8.

Tabela 8.– Factores de impacte globais por cenário de gestão e espécies para a região Nordeste /Norte central e região desenvolvido pelo método Ecoindicator 99 (E)/Europe EI 99 E/E

	Média ponderada dos factores de impacte	
	Resinosas	Folhosas
Carcinogéneos	0,000046	0,000047
Orgânicos respiratórios	0,000033	0,000035
Inorgânicos respiratórios	0,012434	0,012691
Alteração climática	0,001471	0,001508
Camada de ozono	0,000000	0,000000
Ecotoxicidade	0,000021	0,000022
Acidificação/Eutrofização	0,003805	0,003879
Combustíveis fósseis	0,013743	0,014147
Total	0,031553	0,032329

No entanto e uma vez que ambos os estudos utilizam o mesmo método e a mesma unidade funcional ( $\text{m}^3$  de toros de madeira cortados), os valores totais podem ser comparados. Verifica-se que os valores apresentados por Oneil *et al.* (2010) são muito inferiores aos apresentados por Johnson *et al.* (2005) uma diferença de cerca de 97%, o que se deverá principalmente ao facto de Johnson *et al.* (2005) considerar a fertilização nas fronteiras do sistema e Oneil *et al.* (2010) não.

Nas tabelas 3, 4 e 5 são apresentados os estudos que efectuaram uma ACV completa, no entanto também foram analisados estudos que efectuam apenas um ICV, nomeadamente os estudos realizados por England, *et al.* (2013) e White, *et al.* (2005). Assim, nestes estudos não é efectuada a avaliação dos impactes.

Na tabela 9 estão apresentadas as fases de gestão florestal que mais contribuem para cada impacte ambiental nos estudos para os quais as contribuições relativas das várias fases são identificadas.

Nesta tabela verifica-se que a operação florestal que mais contribui para a alteração climática é o transporte em estrada ou secundário, que corresponde ao transporte da madeira da floresta para a fábrica o que se deverá ao elevado consumo de combustível durante esta operação, com elevadas emissões de  $\text{CO}_2$ . A fase de exploração florestal também foi identificada como ponto crítico em alguns estudos devido às emissões de  $\text{CO}_2$  resultantes do corte e chegada da madeira. As operações de fertilização também se revelaram importantes para esta categoria de impacte nos casos em que ocorre a aplicação de fertilizantes azotados, devido à emissão de  $\text{N}_2\text{O}$ . Na depleção da camada de ozono são igualmente referidas as operações de estabelecimento de plantas e preparação do terreno e de exploração florestal. Na acidificação terrestre, eutrofização da água, depleção aquática, depleção dos recursos minerais, ocupação agrícola do solo, depleção de combustíveis fósseis, ecotoxicidade marinha, de água doce, e terrestre e a radiação ionizante, a fase que mais contribui para estas categorias de impacte é estabelecimento de plantas e preparação do terreno. No caso da formação fotoquímica de oxidantes, depleção abiótica e acidificação, a fase com maior importância é a exploração florestal. Na eutrofização as operações que mais contribuem são a condução de povoamentos florestais, a exploração florestal e a preparação do terreno. Já na toxicidade humana os maiores contribuidores são o transporte, a queima de biomassa, a condução de povoamentos florestais, a exploração florestal, a preparação do terreno e a construção de estradas florestais

Tabela 9.– Resultados das operações florestais que mais contribuem para os impactos ambientais

Artigos	Berg e Lindholm (2005)	Michelsen, et al (2008)	González-García, <i>et al.</i> (2009)	Cambria e Pierangeli (2012)	Dias e Arroja (2012)						May, <i>et al.</i> (2012)	England, <i>et al.</i> (2013)		González-García, <i>et al.</i> (2013a)		González-García, <i>et al.</i> (2013b)	González-García, <i>et al.</i> (2014a)				
Cenários					Eucalipto			Pinheiro				Resinosas	Folhosas	ES	IS		França	Portugal			
					1E	2E	3E	1MP	2MP	3MP									IMF	EMF	LMP
Alteração Climática	Transporte	Transporte em estrada	Transporte	Produção de vedações	Condução povoamentos florestais	Exploração florestal	Condução de povoamentos florestais e exploração florestal			Transporte e exploração florestal	Transporte	Queima de biomassa	Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais		Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais						
Depleção do ozono				Produção de combustível										Exploração florestal	Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais	Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais		Exploração florestal			
Acidificação terrestre		Transporte em estrada												Exploração florestal	Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais	Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais					

Tabela 9.– Resultados das operações florestais que mais contribuem para os impactes ambientais (cont.)

Artigos	Berg e Lindholm (2005)	Michelsen, et al (2008)	González-García, <i>et al.</i> (2009)	Cambria e Pierangeli (2012)	Dias e Arroja (2012)						May, <i>et al.</i> (2012)	England, <i>et al.</i> (2013)		González-García, <i>et al.</i> (2013a)		González-García, <i>et al.</i> (2013b)	González-García, <i>et al.</i> (2014a)					
Cenários					Eucalipto			Pinheiro				Resinosas	Folhosas	ES	IS		França		Portugal			
					1E	2E	3E	1MP	2MP	3MP							IMF	EMF	LMP	HMP		
Eutrofização água doce		Transporte em estrada												Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais			Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais					
Eutrofização marinha														Exploração florestal	Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais		Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais		Condução dos povoamentos florestais			

Tabela 9.– Resultados das operações florestais que mais contribuem para os impactes ambientais (cont.)

Artigos	Berg e Lindholm (2005)	Michelsen, et al (2008)	González-García, et al. (2009)	Cambria e Pierangeli (2012)	Dias e Arroja (2012)						May, et al. (2012)	England, et al. (2013)		González-García, et al. (2013a)		González-García, et al. (2013b)	González-García, et al. (2014a)			
Cenários					Eucalipto			Pinheiro				Resinosas	Folhosas	ES	IS		França		Portugal	
					1E	2E	3E	1MP	2MP	3MP							IMF	EMF	LMP	HMP
Formação de oxidantes fotoquímicos	Transporte	Transporte em estrada			Condução povoamentos florestais	Exploração florestal					Exploração florestal, construção de estradas florestais e transporte			Exploração florestal	Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais	Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais				
Ocupação agrícola														Estabelecimento de plantas e preparação do terreno		Estabelecimento de plantas e preparação do terreno				
Depleção aquática														Estabelecimento de plantas e preparação do terreno		Estabelecimento de plantas e preparação do terreno				
Depleção dos recursos minerais														Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais		Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais				



Tabela 9.– Resultados das operações florestais que mais contribuem para os impactes ambientais (cont.)

Artigos	Berg e Lindholm (2005)	Michelsen, et al (2008)	González-García, et al. (2009)	Cambria e Pierangeli (2012)	Dias e Arroja (2012)			May, et al. (2012)	England, et al. (2013)		González-García, et al. (2013a)		González-García, et al. (2013b)	González-García, et al. (2014a)			
Genários					Eucalipto				Resinosas	Folhosas	ES	IS		França	Portugal		
					1E	2E	3E	1M P	2M P	3M P				IM F	E M F	LM P	H M P
Depleção de combustíveis fósseis													Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais	Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais			
Depleção abiótica				Produção de combustível	Exploração florestal												
Acidificação	Exploração florestal e transporte		Transporte	Estabelecimento e manutenção das plantas	Condução dos povoamentos florestais	Exploração florestal	Exploração florestal		Exploração florestal e transporte								
Toxicidade humana				Produção e manutenção de máquinas					Exploração florestal, transporte e construção de estradas florestais				Exploração florestal, Transporte e construção de estradas florestais				

Tabela 9.– Resultados das operações florestais que mais contribuem para os impactos ambientais (cont.)

Artigos	Berg e Lindholm (2005)	Michelsen, et al (2008)	González-García, <i>et al.</i> (2009)	Cambria e Pierangeli (2012)	Dias e Arroja (2012)						May, <i>et al.</i> (2012)	England, <i>et al.</i> (2013)		González-García, <i>et al.</i> (2013a)	González-García, <i>et al.</i> (2013b)	González-García, <i>et al.</i> (2014a)				
Cenários					Eucalipto			Pinheiro				Resinosas	Folhosas	ES	IS		França		Portugal	
					1E	2E	3E	1MP	2MP	3MP							IMF	EMF	LMP	HMP
Ecotoxicidade marinha				Produção de máquinas												Estabelecimento de plantas e preparação do terreno				
Ecotoxicidade de água doce				Produção de máquinas												Estabelecimento de plantas, preparação do terreno e exploração florestal				
Ecotoxicidade terrestre				Produção de máquinas												Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais				

Tabela 9.– Resultados das operações florestais que mais contribuem para os impactes ambientais (cont.)

Artigos	Berg e Lindholm (2005)	Michelsen, et al (2008)	González-García, <i>et al.</i> (2009)	Cambria e Pierangeli (2012)	Dias e Arroja (2012)						May, <i>et al.</i> (2012)	England, <i>et al.</i> (2013)		González-García, <i>et al.</i> (2013a)	González-García, <i>et al.</i> (2013b)	González-García, <i>et al.</i> (2014a)				
Cenários					Eucalipto			Pinheiro				Resinosas	Folhosas	ES	IS		França		Portugal	
					1E	2E	3E	1MP	2MP	3MP							IMF	EMF	LMP	HMP
Eutrofização	Exploração florestal		Aplicação de fertilizantes e pesticidas	Aplicação de fertilizantes	Condução de povoamentos florestais	Condução dos povoamentos florestais	Condução de povoamentos florestais	Exploração florestal												
Radiação ionizante																Estabelecimento de plantas e condução dos povoamentos florestais				

No caso de Oneil, *et al.* (2010) e Johnson *et al.* (2005) a informação sobre as operações que mais contribuem para as categorias de impacto é diferente dos restantes estudos, pois estão apresentadas as contribuições para o factor de impacto. Johnson *et al.* (2005) refere que o maior contributo para o factor de impacto global provém da combustão de gasóleo, principalmente durante o transporte secundário. Oneil, *et al.* (2010) refere que o maior contributo para o factor de impacto provém da queima de resíduos florestais e das emissões da combustão de gasóleo e gasolina.

O estudo de White, *et al.* (2005) procede apenas a um ICV identificando as operações que mais contribuem em termos de toneladas de carbono emitido por toneladas de carbono de madeira cortada, sendo a utilização das máquinas de corte a mais significativa.

## 5 CONCLUSÕES

A realização do presente trabalho teve por base a análise e comparação de 14 estudos de ACV da madeira. Neste capítulo apresentam-se as conclusões mais relevantes a retirar do trabalho desenvolvido.

As florestas possuem elevado interesse comercial devido ao interesse da utilização industrial da madeira, quer para a indústria de produção de papel, quer para a indústria de mobiliário e da construção. Assim, cada vez mais é importante avaliar os impactes associados à produção de madeira de forma a permitir a mitigação desses mesmos impactes.

Neste trabalho verifica-se que existem diversos estudos publicados sobre a ACV da madeira, no entanto alguns efectuem apenas um ICV como é o caso de White, *et al.* (2005), May, *et al.* (2012) e England, *et al.* (2013). Os restantes efectuem a avaliação de impactes ambientais, embora as categorias de impacte seleccionadas para análise e os métodos de avaliação de impactes sejam variáveis. Há determinadas categorias de impacte que são comuns à maioria dos estudos, como a alteração climática, a acidificação, a eutrofização e a formação fotoquímica de oxidantes. Quanto aos métodos de avaliação de impactes, a maioria dos estudos usa o método CML 2001 e o ReCiPe, e apenas os estudos de Oneil, *et al.* (2010) e de Johnson *et al.* (2005) realizam a ponderação recorrendo ao método Eco-indicator 99.

As unidades funcionais adoptadas pelos vários estudos variam, sendo a mais utilizada 1 m<sup>3</sup> de toros de madeira variando depois entre madeira seca ou verde e entregue na fábrica ou não. No caso de González-García, *et al.* (2013a), de González-García, *et al.* (2014a) e de González-García, *et al.* (2013b), são indicadas informações adicionais, como o teor de humidade da madeira e a percentagem de casca, o que permite a conversão para uma mesma unidade funcional e a correspondente comparação directa de resultados. Este deverá ser um factor a ter em consideração em trabalhos futuros, de forma a facultar a informação que possa facilitar a comparação de resultados pela conversão para a mesma unidade funcional. No caso do estudo de González-García, *et al.* (2014b) este faz uma comparação entre doze estudos europeus sendo a unidade funcional m<sup>3</sup> por ano, ou seja, a que mais difere dos restantes trabalhos científicos analisados neste trabalho.

Relativamente às fronteiras do sistema, também existem algumas diferenças entre estudos. Nomeadamente na existência de transporte da madeira até à fábrica ou terminar à saída da floresta. O transporte da madeira até à fábrica é considerado como significativo nos estudos de Berg e Lindholm (2005), de Michelsen, et al (2008), de González-García, et al. (2009) e England, et al. (2013) com contribuições para as categorias de impacto variando entre 31% a 66%. Relativamente ao transporte de trabalhadores, apenas White, *et al.* (2005) e England, *et al.* (2013) o consideram no seu estudo, no entanto não é referido como significativo para os impactes ambientais. O estudo de Cambria e Pierangeli (2012) refere que a produção de máquinas é importante para a categoria de toxicidade (70%) e ecotoxicidade (54% para ecotoxicidade da água doce, 47% para a ecotoxicidade marinha e 36% para a ecotoxicidade aquática), a produção de vedações como significativo para as alterações climáticas (38%). Neste caso pode-se considerar importante a inclusão destas operações em trabalhos futuros, até para compreender se a importância dos mesmos em Cambria e Pierangeli (2012) se deve ao facto de se tratar de produção de nogueira.

Apesar de não ser possível uma comparação directa entre todos os estudos em análise, devido essencialmente a diferenças nas unidades funcionais e métodos de avaliação de impacto, podemos dizer que o estudo de Cambria e Pierangeli (2012) apresenta valores superiores relativamente aos restantes em todas as categorias de impacto. O sistema em estudo considera a monocultura de nogueira no sul de Itália. Este estudo, ao contrário dos restantes, considera a vedação (estacas de madeira e arame) para a protecção das plantas. Outro factor importante é a elevada taxa de utilização de fertilizantes, principalmente durante os primeiros 5 anos da plantação. Adicionalmente, no transporte é considerado o transporte das sementes, dos fertilizantes, dos materiais da vedação e da madeira até à fábrica.

A produção de abeto de Douglas na Alemanha, estudada por González-García, *et al.* (2014b), é a que provoca menos impactes. Isto dever-se-á a ser uma espécie com elevado rendimento de biomassa, que praticamente não necessita de aplicação de fertilizantes nem de atividades de desbaste com recurso a máquinas de grandes dimensões.

Nos estudos que apresentam cenários de gestão intensiva e extensiva para a mesma espécie e país como é o caso de González-García, *et al.* (2014a) (que analisou a produção de madeira de pinheiro bravo em França e Portugal) e Dias e Arroja (2012) (que avaliou a produção de madeira de eucalipto e pinheiro bravo em Portugal), verifica-

se uma diferença significativa dos impactes entre os cenários. A diferença entre cenários verifica-se essencialmente na maior utilização de fertilizantes e elevada repetição de algumas operações florestais como o desbaste e o controlo mecânico de infestantes, no cenário de gestão intensiva. Estes factores contribuem para que este cenário apresente impactes mais elevados. Contudo, no estudo de González-García, *et al.* (2014a), no caso da produção de madeira de pinheiro bravo em França, o cenário de gestão extensiva, caracterizado pela não utilização de fertilizantes e herbicidas, por uma menor produtividade de madeira e por uma rotação mais longa, é o que apresenta maiores impactes pois requer o consumo de maior quantidade de combustível por m<sup>3</sup> de madeira produzida.

Todos os estudos analisados apresentam de forma gráfica ou descrita no texto as operações mais relevantes para cada categoria de impacte. Das fases de gestão florestal, a preparação do terreno e a exploração florestal são as que mais contribuem para os impactes ambientais da produção de madeira na maioria dos estudos. Estas fases são aquelas que mais envolvem a utilização de máquinas em vez de operações manuais e possuem operações de repetição cíclica ao longo da vida útil da floresta. É de destacar também a operação de fertilização que pode contribuir de forma significativa para a eutrofização. Os estudos de ACV permitem assim identificar as fases que mais contribuem para os impactes e sobre as quais deverão incidir prioritariamente os esforços no sentido da redução dos impactes ambientais.





## Referências bibliográficas

- Aliança Florestal, Celbi, Direcção-Geral dos Recursos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Silvicaíma, Unimadeiras, (2007); Planeamento Operacional e Boas Práticas de Exploração Florestal, PROJECTO AGRO 667
- Berg S, Lindholm EL. (2005) Energy use and environmental impacts of forest operations in Sweden. *J. Clean Prod.*; 13:33–42.
- Cambria, D., Pierangeli, (2012) Application of a life cycle assessment to walnut tree (*Juglans regia* L.) high quality wood production: a case study in southern Italy. *Journal of Cleaner Production*; 23:37-46
- Consoli, F., Allen, D., Boustead, I., Fava, J., Franklin, W., Jensen, A., Oude, N., Parrish, R., Perriman, R., Postlethwaite, D., Quay, B., Séguin, J., e Vigon B. (Eds.) (1993). SETAC-Society of Environmental Toxicology and Chemistry, (1993). Guidelines for Life-Cycle Assessment: A “Code of Practice”.
- Dias, A.C., Arroja, L., (2012). Environmental impacts of eucalypt and maritime pine wood production in Portugal. *Journal of Cleaner Production* 37:368-376
- England, J., May, B., Raison, R. Paul, K. (2013) Cradle-to-gate inventory of wood production from Australian softwood plantations and native hardwood forest: Carbon sequestration and greenhouse gas emission. *Forest Ecology and Management*; 302:295-307
- FAO (2010) Global Forest Resources Assessment – main report. FAO Forestry Paper No. 163. Rome. [www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e00.htm](http://www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e00.htm)
- Ferreira, José; *Análise de Ciclo de Vida dos Produtos* (2004) – Gestão Ambiental; Instituto Politécnico de Viseu.
- FPFP (2001); *O pinheiro bravo – caderno técnico*. Federação dos Produtores Florestais de Portugal, Lisboa.
- Frischknecht R., Braunschweig A., Hofstetter P. and Suter P. (2000) Human Health Damages due to Ionising Radiation in Life Cycle Impact Assessment. In: *Review Environmental Impact Assessment*, 20(2), pp. 159-189.
- Goedkoop M., Heijungs R., de Schryver A., Struijs J. and van Zelm R. (2009) ReCiPe 2008 - A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level / Report I: Characterisation. Ministerie van VROM, Den Haag (Netherlands), Online-Version under: [www.lcia-recipe.net](http://www.lcia-recipe.net)
- Gonçalves, A, Dias, S., Ferreira, A. (2008), Definição de Modelos de Silvicultura à Escala dos Planos de Ordenamento Florestal, *Silva Lusitana*, nº especial: 97 - 110,
- González-García S, Berg S, Moreira MT, Feijoo G. (2009) Evaluation of forest operations in Spanish eucalypt plantations under a life cycle assessment perspective. *Scand J. For. Res*; 24:160–72
- González-García, S., Bonnesoeur, V., Pizzi, A., Feijoo, G., Moreira, M.T., (2013a). The influence of forest management systems on the environmental impacts for Douglas-fir production in France. *Sci. Total Environ.* pp. 681-692.

- González-García, S., Krowas, I., Becker, G., Feijoo, G., Moreira, M.T., (2013b). Cradle-to gate life cycle inventory and environmental performance of Douglas-fir roundwood production in Germany. *J. Clean. Prod.* 54:244-252.
- González-García, S., Dias, A., Feijoo, G., Moreira, T., Arroja, L.,(2014a). Divergences on the environmental impact associated to the production of maritime pine wood in Europe: French and Portuguese studies. *Science of the Total Environment.* 472:324-337.
- González-García, S., Moreira, T., Dias, A., Mola-Yudego, B., (2014b). Cradle-to-Gate Life Cycle Assesment of forest operations in Europe: environmental and energy profiles. *Journal of Cleaner Production.* 66:188-198.
- Guinée, J.B. (Ed.), M. Gorrae, R. Heijungs, G. Huppes, R. Kleijn, A. de Koning, L. van Oers, A. Wegener Sleeswijk, S.Suh, H.A. Udo de Haes, J.A. de Bruijn, R. van Duin and M.A.J. Huijbregts (2002). *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards.* Series: Eco-efficiency in industry and science. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht (Hardbound, ISBN 1-4020-0228-9; Paperback, ISBN 1-4020-0557-1
- Heijungs, R., Guinée, J. B., Huppes, G., Lankreijer, R. M., de Haes, H. e Sleeswijk, A., (1992). *Environmental Life Cycle Assessment of Products - Backgrounds and Guide LCA.* Leiden: CML Centre of Environmental Science
- Heijungs, R., (1994). A generic method for the identification of options for cleaner products. *Ecological Economics* 10:69-81
- Heijungs, R., (1996). Identification of key issues for further investigation in improving the reliability of life-cycle assessments. *J. Cleaner Production* vol. 4, (3-4) 159-166.
- ILCD (2010a), General Guide for Life Cycle Assessment – detailed guidance. <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>
- ILCD (2010b), Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment (LCA), <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-LCIA-Background-analysis-online-12March2010.pdf>
- Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) (2014), (<http://www.icnf.pt/>)
- Instituto Português da Qualidade; NP EN ISO 14044. (2010) *Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e linhas de orientação*
- Instituto Português da Qualidade; NP EN ISO 14040. (2008) *Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e enquadramento*
- Johnson, L.R., Lippke, B., Marshall, J.D., Cornick, J., (2005). Life-cycle impacts of forest resource activities in the Pacific northwest and southeast United States. *Wood and Fiber Science* 37:30–46.
- May, B., England, J.R., Raison, R.J., Paul, K.I., (2012). Cradle-to-gate inventory of wood production from Australian softwood plantations and native hardwood forests: embodied energy, water use and other inputs. *Forest Ecol. Manage.* 264:37-50.
- Michelsen, O., Solli, C., Strømman, A.H., (2008). Environmental impact and added value in forestry operations in Norway. *J. Ind. Ecol.* 12 (1), 69-81.
- Oliveira, A. (1999). *Manual de boas práticas florestais para o pinheiro bravo.* Centro Pinus, Porto,

Oneil, E.E., Johnson, L.R., Lippke, B.R., McCarter, J.B., McDill, M.E., Roth, P.A., Finley, J.C., (2010). Life-cycle impacts of inland northwest and northeast/north central forest resources. *Wood and Fiber Science* 42 (Supplement 1), 29–51.

PRé Consultants. <http://www.pre-sustainability.com/>, [2013/2014].

Swedish Environmental Management Council (SEMC) (2000). Requirements for Environmental Product Declarations (EPD). An application of ISO TR 14025 TYP III Environmental Declarations.

White, M. K., Gower, S. T. & Ahl, D. E. (2005). Life cycle inventories of roundwood production in northern Wisconsin: Inputs into an industrial forest carbon budget. *Forest Ecology and Management*, 219:13-28.

USEPA, (2001). U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation. LCAccess - LCA 101. 2001. Retrieved from: <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lca101.htm>.



## Anexo A – Tabelas

Tabela A.1.– Comparação de resultados de estudos com o mesmo método - ReCiPe

		González-García, <i>et al.</i> (2013a)		González-García, <i>et al.</i> (2013b)	González-García, <i>et al.</i> (2014a)			
		ES	IS		França		Portugal	
					IMF	EMF	LMP	HMP
Alteração Climática	kg CO <sub>2</sub> eq	1,09E+01	2,09E+01	2,70E+00	1,89E+01	2,73E+01	5,60E+00	2,18E+01
Depleção do ozono	g CFC-11 eq	1,48E-03	2,52E-03	3,22E-04	2,60E-03	3,60E-03	8,00E-04	2,90E-03
Acidificação terrestre	kg SO <sub>2</sub> eq	6,76E-02	1,21E-01	1,68E-02	1,20E-01	1,70E-01	4,00E-02	1,50E-01
Eutrofização água doce	kg P eq	2,21E-03	8,62E-03	8,62E-04	8,00E-03	5,90E-03	6,00E-04	1,00E-02
Eutrofização marinha	kg N eq	3,84E-03	6,55E-03	8,18E-03	6,90E-03	9,40E-03	2,60E-03	8,20E-03
Formação de oxidantes fotoquímicos	kg NMVOC	1,18E-01	1,82E-01	2,86E-02	1,90E-01	2,80E-01	9,00E-02	2,40E-01
Ocupação agrícola	m <sup>2</sup> .ano	7,28E-02	2,17E-01	2,76E-02	-	-	-	-
Depleção aquática	dm <sup>3</sup>	2,95E-02	1,00E-01	1,14E+01	8,51E+01	9,02E+01	1,12E+01	1,06E+02
Depleção dos recursos minerais	t Fe eq	2,10E-03	6,70E-03	8,51E-04	3,40E-03	5,90E-03	4,90E-04	5,30E-03
Depleção de combustíveis fósseis	t petróleo eq	3,91E-03	7,31E-03	9,20E-04	6,70E-03	9,60E-03	2,00E-03	7,80E-03
Toxicidade humana	kg 1,4-DCB eq	-	-	1,48E+00	5,20E+00	8,90E+00	1,60E+00	9,10E+00
Ecotoxicidade marinha	g 1,4-DCB eq	-	-	2,45E+01	1,10E-01	1,70E-01	2,00E-02	1,70E-01
Ecotoxicidade de água doce	g 1,4-DCB eq	-	-	2,26E-02	1,10E-01	1,60E-01	2,00E-02	1,50E-01
Ecotoxicidade terrestre	g 1,4-DCB eq	-	-	8,28E-04	3,10E+00	3,70E+00	1,90E+00	4,40E+00
Radiação Ionizante	kg U235eq	-	-	5,75E-01	-	-	-	-

- – Informação não disponibilizada

ES – Cenário de gestão extensiva

IS – Cenário de gestão intensiva

IMF – cenário intensivo em França

EMF – cenário Extensivo em França

LMP – cenário de alta intensidade em Portugal

HMP – cenário de baixa intensidade em Portugal

Tabela A.2.– Comparação de resultados de estudos com o mesmo método CML

		González-García, <i>et al.</i> ( 2014b)											
		Salgueiro		Álamo		Pinheiro				Abeto de Douglas			Abeto
		Suécia		Itália		França		Portugal		França		Alemanha	Suécia
		Sc1	Sc2	Sc3	Sc4	Sc5	Sc6	Sc7	Sc8	Sc9	Sc10	Sc11	Sc12
Acidificação	g SO <sub>2</sub> eq	4,76	10,70	17,90	27,30	1,94	3,47	0,92	2,97	0,90	2,84	0,29	0,99
Aquecimento global	kg CO <sub>2</sub> eq	0,59	2,69	0,95	1,10	0,33	0,53	0,13	0,43	0,15	0,48	0,05	0,18
Oxidação fotoquímica	g C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	0,12	0,17	0,14	0,16	0,09	0,12	0,04	0,13	0,04	0,13	0,01	0,05
Eutrofização	g PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> eq	1,35	23,30	4,23	6,38	0,58	1,33	0,23	1,17	0,26	0,99	0,10	0,34
Procura cumulativa de energia não renovável fóssil e nuclear	MJ eq	11,30	17,40	12,80	15,50	5,34	8,66	1,94	7,49	2,46	8,12	0,77	2,92

Sc1 - cenário intensivo

Sc2 - cenário de baixa intensidade

Sc3 – cenário de alta intensidade

Sc4 - cenário de baixa intensidade

Sc5 - cenário de baixa intensidade

Sc6 - cenário de alta intensidade

Sc7 - cenário de baixa intensidade

Sc8 - cenário de alta intensidade

Sc9 - cenário de baixa intensidade

Sc10 - cenário de alta intensidade